



Pro-gradu tutkielma  
Meteorologia

# Talven 2019/20 sääolot Suomessa

Janina Taurinen  
(08 / 2021)

Ohjaajat: Victoria Sinclair, Jouni Räisänen

Tarkastajat: Heikki Järvinen, Jouni Räisänen

HELSINGIN YLIOPISTO  
Fysiikan laitos  
PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)  
00014 Helsingin yliopisto

Tiedekunta – Fakultet – Faculty		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree programme	
Fysiikan laitos		Meteorologia	
Opintosuunta – Studierikting – Study track			
Ilmakehätieteet, meteorologia			
Tekijä – Författare – Author			
Janina Taurinen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title			
Talven 2019/20 sääolot Suomessa			
Työn laji – Arbetets art – Level	Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages	
Pro gradu -tutkielma	08.2021	35	
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Maapallon keskilämpötila on ollut selkeässä nousussa jo noin sadan vuoden ajan ja nousun odotetaan jatkuvan tulevaisuudessakin. Suurimman osan eri kuukausien keskilämpötiloista on ennustettu nousevan ilmastollisiin vertailuarvoihin suhteutettuna normaalia korkeammiksi. Lämpeneminen vaikuttaa etenkin korkeiden leveysasteiden talviin. Muutos Suomen lämpötiloissa sekä pohjois- ja eteläosien välisessä lämpötilaerossa on huomattavasti suurempi talvisin kuin kesäisin.</p> <p>Talvi 2019-2020 oli Suomessa ennätyksellisen lämmin. Tässä tutkimuksessa pyrin kartoittamaan kuinka poikkeava talvi 2019-2020 oli lämpötilojen suhteen edellisten 30 talven muodostamaan vertailukauteen verrattuna. Tutkimuksessa tarkastellaan kuutta kuukautta, loka-maaliskuu, ja vertailukauden on valittu olevan tammikuusta 1989 – maaliskuuhun 2019. Lisäksi käsitellään korkeiden lämpötilojen todennäköisimpiä aiheuttajia tarkastelemalla valittuja perusmuuttujia; paine, geopotentialkorkeus, ominaiskosteus, ilmapilarin kokonaiskosteus ja yläilmakehän tuulen nopeus ja suunta.</p> <p>Lämpimimmät poikkeamat havaittiin jouluihelmikuussa, kun lounaasta puhaltava suihkuvirtaus toi mukanaan lämpimiä, kosteita ilmassoja sekä voimakkaita matalapaineita. Tammikuu 2020 rikkoi monilla asemilla lämpöennätyksiä ja Etelä-Keski-Suomessa vertailukauden keskiarvot ylittyivät jopa 7-8 asteella. Helmikuu oli mittaushistorian toiseksi lämpimin. Lokamarraskuu sitä vastoin olivat vertailukautta noin asteen viileämpiä ja maaliskuun puolella poikkeuksellinen lämpimyyden tasoittui lähelle vertailukautta. Runsaan matalapainetoiminnan sekä ilman korkean kosteussisällön vuoksi sadetta tuli läpi talven paikoin jopa kaksi-kolminkertaisesti verrattuna keskiarvoihin.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Meteorologia, synoptiikka, talvisää, lämpötila, Pohjois-Eurooppa, Suomi, kartta-analyysi			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			
Ohjaajat: Victoria Sinclair, Heikki Järvinen, Jouni Räisänen			

## Sisällysluettelo

1. Johdanto .....	1
2. Suomen talvi-ilmastoon vaikuttavia tekijöitä .....	2
2.1 Käsitteet .....	2
2.2 Eri tekijöiden yhteys kylmiin ja lämpimiin talviin .....	4
2.3 Esimerkkejä sääoloiltaan epätavallisista talvista .....	6
2.3.1 Lämmin talvi 2006/07 .....	6
2.3.2 Kylmä talvi 2009/10 .....	6
2.3.3 Myrskytalvi 2013/2014 .....	7
2.4 Ilmastomuutoksen vaikutukset Suomen talviin .....	8
3. Aineisto ja menetelmät .....	9
3.1 ERA5-uusanalyysi .....	9
3.2 Talven määritelmä ja vertailun toteuttaminen .....	10
3.3 Muuttujien esittely .....	10
3.3.1 Paine (p, hPa) .....	10
3.3.2 Lämpötila (T, °C) .....	10
3.3.3 Tuulen nopeus ja suunta (U, V, m/s / solmu) .....	11
3.3.4 Geopotentialikorkeus (Z, m) .....	11
3.3.5 Ominaiskosteus (Q, kg/kg) ja ilmapilarin kokonaiskosteus (tcwv, kg/m <sup>2</sup> ) .....	11
4. Tulokset .....	12
4.1 Lämpötila .....	12
4.1.1 Pinnan lämpötila .....	12
4.1.2 Lämpötila, 850 hPa .....	14
4.1.3 Lämpötila, 500 hPa .....	15
4.2 Paine kenttä .....	16
4.2.1 Merenpintapaine .....	16
4.2.2 Geopotentialikorkeus, 500 hPa .....	20
4.3 Tuulikenttä .....	21
4.3.1 Tuulikenttä, 300 hPa .....	22
4.3.2 Maanpinnalla havaitut myrskytuulet .....	24
4.4 Kosteus .....	25
4.4.1 Ominaiskosteus, 850 hPa .....	25
4.4.2 Ilmapilarin kokonaiskosteus .....	26
4.4.3 Sateisuus ja lumisuus .....	27
4.5 Lämpimät talvet tulevaisuudessa – poikkeus vai trendi .....	29

5. Yhteenveto .....	30
6. Kiitokset .....	31
7. Lähdeluettelo .....	31

## 1. Johdanto

Maapallon keskilämpötila on ollut selkeässä nousussa jo yli sadan vuoden ajan. Keskilämpötilan nousu on saavuttanut noin asteen vertailukaudesta 1850-1900 [Allen et al., 2018]. Nousun odotetaan jatkuvan vastaisuudessaakin. Lämpenemisen myötä Pohjois-Euroopan talvista tulee keskimäärin vähälumisempia ja pilvisyys sekä sateisuus lisääntyvät. Syksyllä ja talvella rankkasateita on ennustettu esiintyvän aiempaa enemmän ja kovien tuulten puhaltavan yhä useammin lännestä ja lounaasta. Kuukausien keskilämpötiloista suurimman osan on ennustettu nousevan ilmastollisiin vertailuarvoihin suhteutettuna normaalia korkeammiksi. [Ruosteenoja et al., 2013]

Lämpenemisen suuruus ja nopeus riippuvat paljolti käytetystä kasvihuonekaasuskenaariosta. Skenaarioiden avulla pyritään mallintamaan eri kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamien säteilypakotteiden vaikutusta tulevaisuuden ilmastoon. Ilmatieteen laitoksen [Ruosteenoja et al., 2013] raportissa käytetyn keskiskenaarion<sup>1</sup> mukaan, jossa lämpötilan nousun oletetaan seuraavan todennäköisyysjakauman mediaania, talven keskilämpötila nousisi eteläisessä Suomessa 5-6 astetta ja pohjoisosissa 6-7 astetta siirryttäessä vertailukauteen 2070-2099. Vastaavat arviot lämpötilan nousulle kesällä ovat etelässä 2,5-3 astetta ja pohjoisosissa 3 astetta. Muutos Suomen talvilämpötilojen nousussa sekä lämpötilaeroissa pohjois- ja eteläosien välillä on siis huomattavasti suurempi talvella kuin kesällä. [Ruosteenoja et al., 2013]

Talvi 2019-2020 Suomessa oli poikkeuksellisen lämmin. Tämän tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa kuinka paljon talven 2019-2020 lämpötilat poikkesivat edellisten 30 talven muodostamasta ilmastollisesta vertailukaudesta, jonka on valittu olevan tammikuusta 1989 – maaliskuuhun 2019. Tämä selvitetään kartoittamalla kuukausittaisia lämpötilapoikkeamia kuutena kuukautena; loka-maaliskuussa. Lämpötilapoikkeama saadaan laskemalla tarkasteltavan vuoden ja vertailukauden kuukausilämpötilojen keskiarvojen erotus. Hypoteesina tutkimuksessa on, että talvella 2019-2020 ainakin joidenkin talvikuukausien keskilämpötilat osoittautuisivat Ruosteenojan et al. (2013) artikkelin ennusteiden mukaisesti yli 5 astetta vertailukautta lämpimämmiksi. Tutkimuksessa käsitellään myös korkeiden lämpötilojen todennäköisimpiä aiheuttajia tarkastelemalla seuraavia muuttujia; paine, geopotentialikorkeus, ominaiskosteus, ilmapilarin kokonaiskosteus sekä yläilmakehän tuulen nopeus ja suunta. Tarkastelu suoritetaan muuttujakohtaisesti painetasoilla 1000 hPa, 850 hPa 500 hPa sekä 300 hPa.

---

<sup>1</sup> Ruosteenojan et al. (2013) raportti esittelee useita tutkimushankkeisiin kuuluneita osatutkimuksia, joten käytettyjä tutkimusmenetelmiä on lukuisia. Lämpötilan nousun todennäköisyysjakauman muodostamisessa kolmen tarkasteltavan kasvihuonekaasuskenaariota (B1 - pienet päästöt, A2 - suuret päästöt, A1B – näiden välimuoto) on oletettu olevan yhtä todennäköisiä. Tämän lisäksi kaikille 19 ilmastomallin tuloksille on annettu yhtä suuri paino. Tarkempi selostus menetelmästä on esitetty Jylhän et al. (2009) raportin liitteessä 8.

Tämän tutkimuksen ja Ilmatieteen laitoksen kuukausikatsausten perusteella hypoteesi osoittautuu paikkansa pitäväksi kaikkien varsinaisten talvikuukausien (joulukuusta helmikuuhun) kohdalla. Kuudesta tarkastellusta kuukaudesta ainoastaan talvikuukausia edeltävät loka- ja marraskuu olivat vertailukautta viileämpiä, ja nekin vain noin asteen verran. Talvikuukausien lämpötilat ylittivät vertailukauden kuukausikeskiarvot 4-5 asteella joulukuussa, 6-8 asteella tammikuussa ja 4-6 asteella helmikuussa. Tammikuu 2020 rikkoi monilla Etelä- ja Keski-Suomen mittausasemilla lämpöennätyksiä [Lehtonen 2020a] ja koko talven korkeimmat lämpötilapoikkeamat mitattiin tammikuussa Etelä-Suomessa. Lisäksi helmikuu oli erityisen myrskyinen ja kovia pintatuulia sekä syviä matalapaineen alueita havaittiin pitkin kuukautta. Matalapainetoiminta oli vilkasta Pohjois-Euroopassa tammi-helmikuussa ja Atlantin valtamerellä vallitsevan positiivisen NAO-vaiheen vaikutuksia oli havaittavissa läpi talven. Yläilmakehän kuukausittaisten tuulikenttien tarkastelu osoitti keskileveysasteiden suihkuvirtauksen pääosin virranneen lounaasta, Atlantin valtamereltä kohti Pohjois-Eurooppaa, tuoden mukanaan mereltä kosteita, lämpimiä ilmassoja. Tämän vaikutus nähtiin Pohjois-Euroopassa läpi talven ominaiskosteuden sekä ilmapilarin kokonaiskosteuden poikkeaman positiivisina (vertailukautta kosteampina) arvoina.

## 2. Suomen talvi-ilmastoon vaikuttavia tekijöitä

Pohjois-Euroopan sääoloihin vaikuttavat maantieteelliset tekijät, kuten esimerkiksi Suomessa Kölivuoristo ja Itämeri, sekä ympäröivän ilmakehän ja valtameren suuren mittakaavan kiertoliikkeen vaiheet. Tässä kappaleessa esitellään joitain olennaisimmista Pohjois-Euroopan talviolosuhteisiin vaikuttavista ilmiöistä ja avataan niihin liittyviä käsitteitä. Lisäksi ilmiöt liitetään karkeasti kylmien ja lämpimien talvien piirteisiin. Näin lämmintä talvea 2019/20 tarkasteltaessa voidaan seurata, mikäli lämpimiin olosuhteisiin johtavia ilmiöitä on esiintynyt tarkasteluvuonna.

### 2.1 Käsitteet

**Suhteellinen kosteus** kuvaa vesihöyryn määrää ilmassa suhteessa siihen, kuinka paljon ilma pystyisi enimmillään sisältämään höyryä. **Ominaiskosteus** puolestaan kertoo mikä on vesihöyryn massan suhde ilman kokonaismassaan. Ilmaan mahtuvan vesihöyryn enimmäismäärää, eli ilman suurinta ominaiskosteuden arvoa ilman vesihöyryn tiivistymistä, kutsutaan kyllästyskosteudeksi. Kyllästyskosteus on voimakkaasti yhteydessä lämpötilaan; mitä lämpimämpää ilma on, sitä suurempi on sen kyllästyskosteus ja sitä enemmän siihen niin sanotusti mahtuu vesihöyryä. Kun

ilmankosteus saavuttaa 100%, siihen ei voi haihtua enempää vesihöyryä. [Ruosteenoja et al., 2013]

**Sulkukorkeapaine** (*eng. Blocking high*) on korkeapaineen alue, joka liikkuu hitaasti ja on suhteellisen pitkäikäinen. Sulkukorkeapaine on niin voimakas, että se estää matalapaineiden saapumisen korkeapaineen alueelle. Näin ollen alueella vallitsee pitkän aikaa korkeapaine, joka kesäisin johtaa hellejaksoon ja talvisin pakkasjaksoon, mikäli taivas pysyy kirkkaana ja tuulet heikkoina. [Mikä on sulkukorkeapaine, 2018]

**Myrskypäiväksi** lasketaan päivä, jonka aikana jollain merisäähavaintoasemalla mitataan 10 minuutin keskituulen nopeudeksi vähintään 21 m/s [Merialueiden tuulipäivät, 2020].

**Suihkuvirtaus** (*eng. Jet stream*) on keskileveysasteiden yläilmakehässä esiintyvä voimakas virtaus, joka tyypillisesti havaitaan 300-200 hPa:in painepinnalla kovien tuulien kaartuilevana vyönä. Suihkuvirtausten suunta ja voimakkuus vaikuttavat voimakkaasti matalapaineiden sijaintiin ja niihin liittyvien myrskyjen muodostumiseen. [North Atlantic Oscillation, 2020]

**Skandinavian kaukoyhteyskaavio** (SCAND, *eng. Scandinavian pattern*) koostuu kiertoliikkeestä Skandinavian yllä, sekä vastakkaissuuntaisesta kiertoliikkeestä Länsi-Euroopan ja Itäisen Venäjän yllä. Tämän kaukoyhteyden positiiviseen vaiheeseen liittyvät positiivinen noin 500 hPa geopotentialikorkeuden poikkeama Skandinavian ja läntisen Venäjän yllä. Positiivinen vaihe johtaa usein keskiarvoa alempiin lämpötiloihin Keski-Venäjällä sekä Länsi-Euroopassa. Sen sijaan Keski- sekä Etelä-Euroopassa positiivinen vaihe aiheuttaa keskiarvoa suurempia sademääriä ja Skandinavian alueella pienempiä sademääriä. Negatiivinen vaihe liittyy negatiiviseen geopotentialikorkeuden poikkeamaan Skandinavian yllä. [Scandinavia, 2012; Rousi et al., 2013]

**Pohjois-Atlantin värähtely** (NAO, *eng. North-Atlantic Oscillation*) vaikuttaa olennaisesti Pohjois-Euroopan talviolosuhteisiin. Pohjois-Atlantin värähtelyllä tarkoitetaan laaja-alaista vaihtelua ilmakehän painekentässä Pohjois-Atlantin alueella. "Normaali" tilanne Pohjois-Atlantin paineolosuhteissa koostuu suhteellisen korkeasta paineesta Azorien saarilla (Portugalin länsipuolella) ja matalasta paineesta Islannin yllä. NAO kuvaa muutoksia näiden kahden alueen paineiden välillä, eli käytännössä Azorien omalla keskihajonnallaan normitetusta painepoikkeamasta vähennetään Islannin alueella samalla tavalla normitettu painepoikkeama. [Boström, 2014]

Positiivisen NAO-vaiheen aikana tavallista voimakkaampi matalapaine esiintyy Islannin alueella ja tavallista voimakkaampi korkeapaine Azoreilla. Negatiivisen NAO-vaiheen aikana

tilanne on päinvastainen, eli Islannin matalapaine, Azorien korkeapaine sekä näiden välinen paine-ero ovat huomattavasti tavallista heikompia. [North Atlantic Oscillation, 2020]

**Stratofäärin polaaripyörre** (eng. *Polar vortex*) tarkoittaa Arktista vastapäivään, suurin piirtein leveyspiirillä 55°N, kiertäviä voimakkaita tuulia. Kun ilmapaikat muodostavat voimakkaan ringin, arktiset, kylmät ilmapaikat jäävät niin sanotusti loukkuun pohjoisnavalle. Tällöin Pohjois-Euroopassa lounaistuulien on mahdollista dominoida myös pinnan lähellä ja tuoda näin mukanaan lämpimämpiä ilmapaikoja. Polaaripyörteen ollessa heikko, ringistä tulee hajanaisempi. Tällöin kylmän, arktisen ilmapaikan on mahdollista "paeta" pohjoisnavalta ja purkautua kohti etelää. [Zachary et al., 2020]

**Arktinen värähtely** (AO, eng. *Arctic oscillation*) on pohjoisen pallonpuoliskon arktisten alueiden olosuhteiden vaihtelua, joka liittyy olennaisesti yllä mainittuun polaaripyörteeseen. AO:n ollessa positiivisessa vaiheessa Arktista kiertävät tuulet ovat erityisen voimakkaita, mikä suosii lämpimiä olosuhteita Pohjois-Euroopassa. Negatiivisen vaiheen vallitessa tuulet ovat heikkoja ja kylmää ilmaa sekä myrskyjä saapuu pohjoisesta keskileveysasteille [Arctic Oscillation (AO), 2020]. AO:n negatiivisen vaiheen tunnusmerkit ovat korkeapaine arktisilla alueilla ja matalapaine keskileveysasteilla. [Cattiaux et al., 2010]

NAO:n sekä AO:n välillä on havaittu olevan yhteys: eritoten positiivisen NAO:n vaiheen on todettu olevan yhteydessä positiiviseen AO:n vaiheeseen, jolloin Arktista kiertävät tuulet ovat voimakkaampia. Heikon polaaripyörteen myötä etelämmäksi purkautuvat korkeapaineen alueet nostavat painekenttää Islannin alueella johtaen näin negatiivisempaan NAO:n vaiheeseen. [Cattiaux et al., 2010]

## 2.2 Eri tekijöiden yhteys kylmiin ja lämpimiin talviin

Cuijuan et al. (2020) mukaan ensisijaiset Pohjois-Euroopan talviolosuhteisiin vaikuttavat tekijät ovat ilmamekan suuren mittakaavan kiertoliike, pintatuulien suunta sekä pitkäaaltoisen, alaspäin suuntautuneen säteilyn vaikutus. Suuri vaikutus on myös Pohjois-Atlantin-Euroopan (NAE, eng. *North-Atlantic-European*) alueen ilmamekan dynamiikalla, joka muodostuu pääosin länsisuihkuvirtausten barokliinisesta instabiiliudesta. Suihkuvirtauksesta johtuva instabiilius synnyttää planetaarisia aaltoja Luoteis-Amerikasta kohti Eurooppaa ja aiheuttaa mahdollisesti kvasi-stationääristä kiertoliikettä Euroopan alueella. [Cattiaux et al., 2010]

Cuijuan et al. (2020) artikkelissa kylmien ääritilanteiden väheneminen ja lämpimien ääritilanteiden lisääntyminen ilmastossa selitetään termodynaamisilla prosesseilla, eli ilmamekan kiertoliikkeestä riippumattomalla ilmaston lämpenemisellä. Termodynaamisesta muutoksesta



puhutaan, kun samankaltaisena pysyneeseen kiertoliiketyyppiin havaitaan liittyneen ajanjakson lopulla lämpimämpää säätä kuin sen alkupuolella. Kylmien ääritilanteiden huomattiin vähenevän Pohjois-Euroopassa, kun Islannin yllä vallitsevan korkeapainealueen yhteydessä alaspäin suuntautunut pitkäaaltosäteily sekä lounaistuulet voimistuivat. [Cuijuan et al., 2020]

Mantereisten ilmamassojen advektio idästä kohti länttä, selkeä taivas sekä alaspäin suuntautuneen pitkäaaltoisen säteilyn negatiivinen poikkeama ovat kylmille talville ominaisia sääolosuhteita. Tällaiset olosuhteet toteutuvat muun muassa Uralin seudulle muodostuneen sulkukorkeapaineen yhteydessä sekä Skandinavian kaukoyhteyskaavion positiivisessa vaiheessa. Tämä positiivinen vaihe johtaa usein keskiarvoa alempiin lämpötiloihin Keski-Venäjällä sekä Länsi-Euroopassa. [Cuijuan et al., 2020; Scandinavia, 2012; Rousi et al., 2013]

Lämpimään talveen johtavat tyypillisesti matalapaineen keskus Barentsinmerellä (Suomen koillispuolella) sekä Islannin paikkeilla. Lisäksi usein havaitaan korkeapaineen keskus Keski-Euroopan alueella. Islannin matalapaineen ja Keski-Euroopan korkeapaineen vuoksi lounaistuulet dominoivat Pohjois-Euroopassa, tuoden mukanaan lämmintä, kosteaa ja pilvistä ilmamassaa Atlantin valtamereltä. [Cuijuan et al., 2020]

Pohjois-Atlantin värähtelyllä (NAO) on huomattava vaikutus Pohjois-Euroopan talviolosuhteisiin, kuten lämpötiloihin, sademäärään sekä tuulen suuntaan ja voimakkuuteen. Mikäli koetaan NAO:n positiivista vaihetta, jolloin Islannin matalapaineen ja Azorien korkeapaineen alueiden välinen paine-ero on tavallista voimakkaampi, länsi- sekä lounaistuulet dominoivat. Voimakkaan pohjois-eteläsuuntaisen paine- ja lämpötilagradientin vuoksi yläilmakehän suihkuvirtaukset ovat NAO:n positiivisessa vaiheessa voimakkaita ja niiden on mahdollista tuoda tavallista enemmän ja voimakkaampia myrskyjä Atlantin halki Pohjois-Eurooppaan saakka. [North Atlantic Oscillation, 2020]

Negatiivisen NAO-vaiheen aikana Pohjois-Atlantin pohjois-eteläsuuntainen paine-ero on heikompi, minkä vuoksi läntiset virtaukset ovat heikompia. Näin itä- ja koillistuulet pääsevät siis dominoimaan tuoden kylmää, kuivaa ilmaa Pohjois-Euroopan ylle. Negatiivisen vaiheen aikana suihkuvirtaus harvemmin tuo myrskyjä Pohjois-Euroopan alueelle, jolloin talvesta tyypillisesti tulee kylmempi, kuivempi sekä tyynempi. Grönlannin jäätiköllä NAO-vaiheet aiheuttavat päinvastaisen vaikutuksen; positiivisen vaiheen aikana kylmän ja kuivan säätilan, negatiivisen vaiheen aikana lauhemman ja kosteamman säätilan. [North Atlantic Oscillation, 2020]

Lämpimään talveen vaikuttaa NAO-värähtelyn ohella myös polaaripyörteen voimakkuus. Positiivisen NAO-vaiheen on huomattu usein esiintyvän positiivisen AO-vaiheen kanssa yhtäaikaaisesti. Esimerkiksi positiivisen AO-vaiheen aikaan ilmavirrat muodostavat voimakkaan, yhtenäisen ringin napapiirin tuntumassa, jolloin arktiset kylmät ilmamassat jäävät niin sanotusti loukkuun pohjoisnavalle. Tällöin Pohjois-Euroopassa lounaistuulien on mahdollista dominoida myös pinnan lähellä ja tuoda näin mukanaan lämpimämpiä ilmamassoja. Polaaripyörteen puolestaan ollessa heikko, arktiset ilmamassat vapautuvat ja virtaavat Pohjois-Euroopan alueelle

vapauttaen kylmää ilmaa pohjois-koillisilta korkeapaineiden alueilta. Kylmät korkeapaineen alueet nostavat painekenttää Islannin alueella johtaen näin negatiivisempaan NAO:n vaiheeseen. [Zachary et al., 2020]

## 2.3 Esimerkkejä sääoloiltaan epätavallisista talvista

Talvi 2019-2020 oli jopa aiemmin koettuihin lämpimiin talviin verrattaessa poikkeuksellisen lämmin. Aikaisempia poikkeuksellisen lämpimiä talvia koettiin esimerkiksi vuosina 1990/91, 2000/01, 2006/07 ja 2017/18 [Cuijuan et al., 2020; DMI, 2020]. Tavanomaista kylmempiä talvia on puolestaan koettu vuosina 2002/03 ja 2009/10. Lämpimien ja kylmien talvien lisäksi tarkastellaan Brittein saarilla hyvinkin myrskyisenä koettua talvea 2013/14, jonka vaikutukset ulottuivat Suomeen saakka (9 myrskypäivää joulukuussa 2013) [Cuijuan et al., 2020; Priestley et al., 2017; Cattiaux et al., 2010; Merialueiden tuulipäivät, 2020].

### 2.3.1 Lämmin talvi 2006/07

Huomattavasti tavanomaista lämpimämpi talvi esiintyi esimerkiksi vuonna 2006/07, jolloin lämpötilan positiivisia ääriarvoja koettiin Pohjois-Euroopassa keskimäärin 23 päivänä ja Suomen alueella jopa yli 30 päivänä joului- ja tammikuun aikana [Cuijuan et al., 2020]. Lämpötilan ääriarvolla tarkoitetaan tässä yhteydessä vuorokauden 2-metrin ilman lämpötilan poikkeamaa kuvaavan jakauman molempien ääripäiden 1%:iin osuvia arvoja. Lämpimänä talvena 2006/07 vallitsi useampi lämpimyyteen johtava tekijä: matalapaineen keskus vallitsi Barentsinmeren yllä sekä Länsi-Islannin paikkeilla. Korkeapaineen keskus havaittiin pitkälti Keski-Euroopassa ja lounaistuulet toivat lämmintä, kosteaa ilmaa Pohjois-Eurooppaan. Pitkäaaltoisen säteilyn poikkeama, pilviveden ja -jään kokonaismäärän poikkeama sekä NAO:n vaihe olivat kaikki positiivisia [Cuijuan et al., 2020]. Vuoden 2006/07 kaltaisten talvien on ennustettu lisääntyvän vastaisuudessa ja tarkasteltava talvi 2019/20 ohittikin vuoden 2006 lämpöennätykset.

### 2.3.2 Kylmä talvi 2009/10

Talvi 2009/10 oli poikkeuksellisen kylmä ja luminen. Suomessa koettiin marras-helmikuun aikana kahdeksan myrskypäivää ja jopa 60-80 päivän mittaisia, yhtenäisiä pakkasjaksoja [Merialueiden tuulipäivät, 2020; Talven 2009-2010 sää, 2020]. Kylmien olosuhteiden uskotaan olleen pääasiassa seurausta arktisen värähtelyn negatiivisesta vaiheesta ja heikosta stratosfäärin polaaripyörteestä [Cattiaux et al., 2010]. Tämän lisäksi NAO:n vaihe oli kyseisenä talvena negatiivinen. [Cattiaux et al., 2010; Silkstone, 2020].

NAO:n ja AO:n negatiivisten vaiheiden ohella talvena 2009-2010 itätuulet dominoivat Pohjois-Euroopassa, tuoden kylmää ilmaa Siperiassa koetun voimakkaan korkeapaineen alueelta. Tämä korkeapaine mahdollisti normaalia kylmemmät lämpötilat ja korkeamman pintapaineen. Lisäksi stratosfäärissä tapahtui äkillistä lämpenemistä tammikuun lopulla, jolloin stratosfäärin geopotentialikorkeus- ja tuulipoikkeamat liikkuvat voimakkaasti alaspäin, stratosfääristä kohti maanpintaa. Tämä johti troposfäärin viilenemiseen [Talven 2009-2010 sää, 2020; Cohen et al., 2010].

Talvi 2009-2010 oli todennäköisimmin yksittäinen poikkeus ilmakehän lämpenevässä kehityssuunnassa, jonka mahdollistivat yllä mainitut ilmakehän olosuhteet. Aiempiin, kiertoilikkeeltään samankaltaisiin talviin verrattuna talvi 2009/10 jäi verrokkejaan lämpimämmäksi. Vastaisuudessa on arvioitu, että nimenomaan talvien minimilämpötilat nousisivat huomattavasti enemmän kuin talvien maksimilämpötilat. Eli kovien pakkasten on siis ennustettu lauhenevan [Cattiaux et al., 2010].

### 2.3.3 Myrskytalvi 2013/2014

Talvella 2013-2014 myrskypäiviä havaittiin Suomessa marras-helmikuussa 18, joista 15 koettiin marras-joulukuussa 2013 [Merialueiden tuulipäivät, 2020]. Suuren myrskyjen lukumäärän mahdollistivat myrskyklusterit. Klusterilla tarkoitetaan joukkoa tai keskittymää, eli tässä tapauksessa lyhyellä ajanjaksolla monen voimakkaan syklonin pyyhkiytymistä saman alueen ylitse. Tämä on mahdollista toisen asteen syklonien kehityksellä, jolloin uusi sykloni muodostuu jo olemassa olevan syklonin kylmälle rintamalle. Myrskyklustereita on havaittu esimerkiksi talvina 1990/91, 1999/2000 ja 2013/14 [Priestley et al., 2017].

Eritoten talven 2013/14 helmikuu oli aktiivinen syklonien suhteen Pohjois-Atlantilla, ja sademäärät olivat paikoin jopa kaksinkertaiset vertailukauden (1981-2010) keskiarvoihin nähden. Viikon aikana Länsi-Euroopan ylitti jopa kuusi syklonia, nimenomaan yllämainitun klusteroitumisen johdosta. Pääsyklonin rintamalle muodostunut tytär-sykloni korvasi pääsyklonin mahdollistaen näin uuden myrskyn muodostumisen. Talvella 2013/14 NAO:n vaihe oli positiivinen, jolloin voimakkaan pohjois-eteläsuuntaisen paine- ja lämpötilagradientin seurauksena keskileveysasteiden suihkuvirtaus oli voimakas. Syklonien peräkkäinen muodostuminen oli siis alkujaan mahdollista Atlantilta virtaavan jatkuvan ja voimakkaan suihkuvirtauksen vuoksi. [Priestley et al., 2017; Kendon & McCarthy, 2015]

## 2.4 Ilmastomuutoksen vaikutukset Suomen talviin

Ilmatieteen laitoksen sekä Helsingin yliopiston yhteistyönä tehdyssä raportissa, jossa esitetään arvioita Suomen tulevasta ilmastosta, ennustettiin lämpimien kuukausien esiintymisen lisääntymistä tulevien vuosien 2031-2050 aikana. Ruosteenojan et al. (2013) raportissa kuukausi määritellään lämpimäksi, mikäli sen keskilämpötila on korkeampi kuin vähintään 50%:lla vertailujakson 1901-2000 keskilämpötilan frekvenssijakauman arvoista. Kyseisen jakauman ylimpään kymmenykseen osuvat kuukaudet määritellään hyvin lämpimiksi ja näitä esiintyisi lähes kymmenen kertaa enemmän kuin hyvin kylmiä. 1900-luvun ennätysarvot ylittäviä kuukausikeskilämpötiloja esiintyisi useammin kuin kerran kahdessa vuodessa. Talvena 2019-2020 kylmiä kuukausia ei Etelä- ja Keski-Suomessa havaittu lainkaan vaan kylmät jaksot rajoittuivat yksittäisiin päiviin<sup>2</sup>. [Ruosteenoja et al., 2013]

Raportissa yhteenvetona todettiin, että Suomen lämpötilat tulevat nousemaan erityisesti talvisin. Keskimääräisten sademäärän muutosten tapahtuminen on hidasta, sillä ilmastomallitulosten mukaan maailmanlaajuinen yhden asteen lämpeneminen lisäisi keskimääräistä vuotuista sademäärää noin 2%. Maapallon sademäärän keskiarvon sijaan rankkasateiden määrä lisääntyy tulevaisuudessa huomattavasti enemmän. Lisäksi esimerkiksi keskileveysasteilla erityisesti talvisademäärien on ennustettu kasvavan suhteessa keskimääräistä vuotuista sademäärää enemmän [Ruosteenoja et al., 2013].

Lämpimämpien talvien myötä ilmakehän kosteussisältö ja sademäärät kasvavat. Lämpimille talville onkin yleistä runsaampi lumisuus alueilla, joilla päästään vielä pakkasen puolelle. Pakkaslukemia alkaa esiintyä kuitenkin jatkuvasti yhä myöhemmin syksyllä ja lämpötilat nousevat nollan yläpuolelle yhä aikaisemmin keväällä. Pakkasaika on siis jatkuvasti lyhyempi, jolloin jatkossa myös lumisateita esiintyy lyhyemmän aikaa kuin aiemmin. Tämä kehityssuunta pätee sekä Etelä- että Pohjois-Suomessa. [Cohen et al., 2010; Räisänen, 2021]

Myös säteilyn määrän on ennustettu muuttuvan hieman. Talven osalta tämä tarkoittaisi vähemmän auringonpaistetus- ja pilvisyyden ennustettu lisääntyminen [Jylhä et al., 2009; Kuva 26]. Kovien tuulien ennustettiin kesää lukuun ottamatta yleistyvän. Tämän uskotaan olevan järkevä muutoksen suunta, sillä mikäli muun muassa meret pysyvät talvellakin sulina, ilmakehän alimman kerroksen stabiilisuus heikkenee ja enemmän liikemäärää pääsee siirtymään vapaasta ilmakehästä lähelle pintaa. Raportissa ennustettiin, ettei ankaria jäätalvia, esimerkiksi Itämerellä, esiintyisi enää vuoden 2040 jälkeen. [Ruosteenoja et al., 2013]

Talvet olisivat siis jatkossa leudompia, sateisempia, kosteampia sekä monin paikoin vähälumisempia. Keskimääräinen ilmanpaine keskileveysasteilla nousee, kun taas napojen

---

<sup>2</sup> Raja-arvon määritelmä kylmälle päivälle vaihtelee mittausaseman sijainnin perusteella -15 ja -25 asteen välillä.

lähettyvillä laskee [IPCC, 2014]. Tämän seurauksena pohjois-eteläsuuntainen lämpötilagradientti siirtyisi pohjoisemmaksi ja näin ollen myös keskileveysasteiden suihkuvirtaukset siirtyisivät korkeammille leveysasteille. Näin ollen voimakkaita tuulia ja myrskyjä esiintyisi aiempaa useammin Pohjois-Euroopan alueella.

### 3. Aineisto ja menetelmät

#### 3.1 ERA5-uusanalyysi

Talven 2019-2020 ominaisuuksia tutkitaan kartoittamalla sen poikkeavuutta vertailukaudesta 1989-2019. Vertailukautta 1989-2019 sekä talvea 2019-2020 kuvaavien karttojen datana on käytetty Euroopan keskipitkien sääennusteiden keskuksen (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) ERA5-uusanalyysia. ERA5 on ECMWF:n maailmanlaajuisesti ilmakehän kattavien uusanalyysien viides sukupolvi. [Climate Copernicus, 2020]

Uusanalyysin avulla pyritään kehittämään mahdollisimman kattava käsitys siitä, kuinka sää- ja ilmasto-olot ovat vaihdelleet ilmakehässä. Uusanalyysi on varsinaisten havaintojen sekä numeeristen mallien simulaatioiden yhdistelmä, joka luo kuvan ilmakehän tilasta [Virtanen et al., 2019; Advancing Reanalysis, 2010]. ERA5-uusanalyysi kattaa koko maapallon, sisältäen sekä ilmakehän eri painetasot (1000 hPa - 1 hPa) että merien ja mantereiden pintaolosuhteet. ERA5 kattaa maapallon ruudukolla, jonka tarkkuus, eli hilapisteväli on  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  ja tarjoaa dataa tunnin välein. Data-assimilaatioksi kutsutulla periaatteella aiempi ennuste yhdistetään uusimpien havaintojen kanssa fysiikan lakeja noudattaen. Näin luodaan kattava käsitys ilmakehän tilasta kullakin ajanhetkellä maailmanlaajuisesti. [Climate Copernicus, 2020]

Tutkimuksessa on tarkoituksena tarkastella talviolosuhteita Suomessa, joten suurin osa kartoista on rajattu kattamaan ainoastaan Pohjois-Euroopan alue. Laajimmillaan kartat kattavat myös Pohjois-Atlantin sekä osan Euraasian alueesta. ERA5:stä ladatut muuttujat ovat lämpötila, maanpintapaine, geopotentialkorkeus, ominaiskosteus, ilmapilarin kokonaiskosteus sekä tuulen nopeus ja suunta tarvittavilla painetasoilla. ERA5-tietokanta antaa lämpötilat kelvineinä, joten karttoja varten lämpötila-arvoista on vähennetty luku 273,15 (K). Tuulennopeudet on annettu yksikössä m/s. Tuulennopeuden lisäksi osassa tuulikartoista käytetään kuitenkin myös tuulinuolia, joissa tavanomaisesti nopeus ilmaistaan solmuina. Tuulinuolien tuulennopeudet on siis muutettu solmuiksi kertomalla ne arvolla 0.514444444 [Climate Copernicus, 2020]. Tuulinuolia sisältävien karttojen selkeyttämiseksi vain joka kymmenes nuoli on piirretty karttaan.

Painetasot, joita tutkimuksessa on käytetty, ovat 1000 hPa, 850 hPa, 500 hPa sekä 300 hPa yläilmakehän tuulikenttää varten.

ECMWF:n aineisto on ladattu muodossa NetCDF (*eng. Network Common Data Form*). NetCDF-tiedostot sisältävät sekä datan (varsinaiset muuttujien arvot), dimensiot (kuten leveys- ja pituuspiirit, aika, korkeus) että metadatan (muun muassa muuttujien nimet ja yksiköt). Tässä tutkielmassa käytetty data on kaksiulotteista, jonka dimensiot ovat pituus- ja leveyspiirit. Aika on keskiarvoistettu kuukauden yli. Vertailukauden kuukausittainen keskiarvoistus koostuu edellisten 30 vuoden kuukausikeskiarvojen keskiarvosta. Suureiden arvoja tarkastellaan eri painepinnoilla, lukuun ottamatta ilmapilarin kokonaiskosteutta, eli vesihöyryn pystyintergoitua määrää, joka on paineesta riippumaton arvo. Tiedostot käsitellään käyttäen koodikieltä Python ja karttapohjina datalle toimii ArcGIS Pro:n tarjoama Basemap [ArcGIS Pro, 2021].

### 3.2 Talven määritelmä ja vertailun toteuttaminen

Talven määritelmänä pidetään vain joulukuuta, mutta tässä tutkielmassa tarkastellaan kolmen kuukauden sijaan kuutta kuukautta, lokakuusta (2019) maaliskuuhun (2020). Keskiarvoihin perustuva tarkastelu on toteutettu erikseen jokaiselle kuukaudelle, niiden piirteiden erittelyksi. Talven 2019-2020 kuukausittaisia keskiarvoja vertaillaan kyseisten kuukausien 30-vuoden keskiarvoihin. Tässä tutkimuksessa vertailukausi on määritelty tammikuusta 1989 – maaliskuuhun 2019. Poikkeamakartat on luotu vähentämällä talven 2019-2020 arvoista vertailukauden 1989-2019 arvot.

### 3.3 Muuttujien esittely

#### 3.3.1 Paine (p, hPa)

Painetta sellaisenaan tarkastellaan ainoastaan merenpinnan tasolla. Paine kentät paljastavat matalapainesysteemien sijainnin. Kyseessä on kuukausikeskiarvot, joten tuloksissa esitellyt painekartat kuvaavat matala- ja korkeapainekeskuksien pääasialliset sijainnit ja niiden sijainnin sekä syvyyden poikkeamat vertailukaudesta. Paine kartat on esitetty yksikössä hehtopascal.

#### 3.3.2 Lämpötila (T, °C)

Lämpötilojen piirteitä tarkastellaan painetasoilla 1000 hPa (maan/meren pinta), 850 hPa sekä 500 hPa (keskitroposfääri). Lämpötilat on esitetty Celsius-asteina vähentämällä Kelvin-arvoista luku

273,15. Lämpötilojen poikkeama vertailukaudesta osoittaa selkeästi millä alueilla ja milloin lämpötilat ovat olleet tavanomaista lämpimämpiä tai viileämpiä. Oletuksena on, että talvikuukaudet 2019-2020 osoittavat ainakin alueellista poikkeuksellista lämpimyyttä.

### 3.3.3 Tuulen nopeus ja suunta (U, V, m/s / solmu)

Tuulen nopeus kuvataan tulokartoissa väreillä ja suunta puolestaan tuulinuolien avulla. Väriskaala esittää nopeuden metreinä per sekunti ja se on laskettu ottamalla neliöjuuri u- ja v-suuntaisten tuulikomponenttien toisten potenssien summasta (kaava 1). Sen sijaan tuulinuolet käyttävät yleisen käytännön mukaisesti solmuja. NetCDF-tiedostossa tuulen nopeus on annettu yksikössä m/s, joten tuulinuolia varten muunnos on toteutettu kertomalla tuulen nopeus arvolla 0.514444444 (kaava 2).

$$V = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

$$\text{Solmu} = \text{m/s} \cdot 0.514444444 \quad (2)$$

### 3.3.4 Geopotentialikorkeus (Z, m)

Geopotentialikorkeus on ilmoitettu painetasolla 500 hPa ja sen poikkeama osoittaa kuinka paljon korkeammalla tai matalammalla kyseinen painepinta on merenpinnasta vertailukauteen verrattuna. Geopotentialikorkeus on laskettu kaavan 3 mukaisesti jakamalla geopotentialin (yksikkö  $\text{m}^2/\text{s}^2$ ) arvo putoamiskiihtyvyyden arvolla (yksikkö  $\text{m}/\text{s}^2$ ). Geopotentialikorkeus on ilmoitettu metreissä.

$$Z = \frac{\Phi}{9.80665 \text{ m/s}^2} \quad (3)$$

### 3.3.5 Ominaiskosteus (Q, kg/kg) ja ilmapilarin kokonaiskosteus (tcwv, $\text{kg}/\text{m}^2$ )

Ominaiskosteus on ilmoitettu painetasolla 850 hPa. Kokonaisvaltaisemman kuvan ilmakehän kosteudesta ja sen poikkeamasta antaa ilmapilarin kokonaiskosteus (*eng. Total column of water vapor, TCWV*). Ilmapilarin kokonaiskosteus kuvaa vesihöyryn pystyintegroitua määrää ilmakehässä. Poikkeamien suurusluokan havainnollistamiseksi eroavaisuus vertailukaudesta on esitetty absoluuttisten arvojen sijaan prosentuaalisina arvoina (kaavat 4 ja 5). Näiden muuttujien avulla voidaan tarkastella, miten talven lämpimyyks vaikuttaa ilmakehän kosteussisältöön. Kosteussisällön yhdistäminen lämpötilojen kanssa antaa mahdollisuuden arvioida sademäärien ja lumisateiden esiintyneisyyttä. Kyseiset suureet löytyvät myös suoraan ERA5-tietokannasta,

mutta tämän tutkimuksen pääasiallisen tarkastelun kohteen ollessa lämpötila ja sen poikkeavuus, sade- ja lumenmäärän kartoitus sellaisenaan on jätetty pois.

$$Q_{\text{poikkeama}} = Q_{2019-2020} - Q_{30\text{ka}} \quad (4)$$

$$Q_{\%} = Q_{\text{poikkeama}}/Q_{30\text{ka}} \quad (5)$$

## 4. Tulokset

### 4.1 Lämpötila

#### 4.1.1 Pinnan lämpötila

Lämpötila painetasolla 1000 hPa kuvaa maanpinnan lämpötilaa loka-maaliskuussa Pohjois-Euroopan alueella (kuva 1). Lokakuu ja marraskuun alku olivat Skandinavian alueella jopa hieman, noin 1-2 astetta, vertailukautta viileämpiä. Erityisesti Lapissa jäätiin vielä viileisiin lämpötiloihin ja 12.10. mennessä terminen talvi alkoi suurimmassa osassa Lappia, joka on noin viikkoa aiemmin kuin keskimäärin. Lokakuun 2019 kylmin mitattu absoluuttinen lämpötila Suomessa oli -24,2 astetta (28.10.), Enontekiön lentoasemalla ja lämpimintä oli 1.10. Helsingissä, Helsingin majakalla, +13,4 astetta [Lehtonen 2019a]. Myös marraskuun lämpötilapoikkeama vertailukaudesta oli pääosin Suomessa negatiivinen, lukuun ottamatta Etelä-Suomea, jossa lämpötilat nousivat noin asteen vertailukauden yläpuolelle. Marraskuussa kylmin lämpötila mitattiin jälleen Enontekiön lentoasemalla 11.11., -30,9 astetta ja lämpimintä oli edelleen Helsingin majakalla, jossa korkein lämpötila mitattiin 14.11., +11,1 astetta [Lehtonen 2019b].

Marraskuun loppupuolella lämpötilat kääntyivät nousuun ja joulukuussa keskilämpötilat nousivat noin 4-5 astetta vertailukauden yläpuolelle. Tämä lämmin trendi jatkuikin läpi lopputalven. Joulukuun kylmin lämpötila, -35,4 astetta, mitattiin 9.12. Utsjoella, Kevojärvellä. Lämpimintä puolestaan oli 4.12. Paraisissa, Fagerholmissa, +8,4 astetta [Lehtonen 2019c].

Alkuvuodesta 2020 Suomen talven lämpötilapoikkeamat olivat suurimmillaan. Tammikuussa Etelä-Keski-Suomen lämpötilat olivat keskimäärin jopa 6-8 astetta vertailukautta lämpimämpiä ja lämpöennätyksiä rikkoutui monilla asemilla. Pohjoisemmaksi mentäessä poikkeavuus väheni, mutta suurin osa Lapistakin oli 2-4 astetta vertailukautta lämpimämpi (kuva 1).

Aivan pohjoisinta Lappia lukuun ottamatta Suomen lähes joka kolkassa tammikuun lämpötilat ylittivät vertailukauden keskiarvot. Joillain lounaissaariston havaintoasemilla ei mitattu pakkasta lainkaan koko tammikuun aikana, mikä on hyvin epätavanomaista. Helsingin

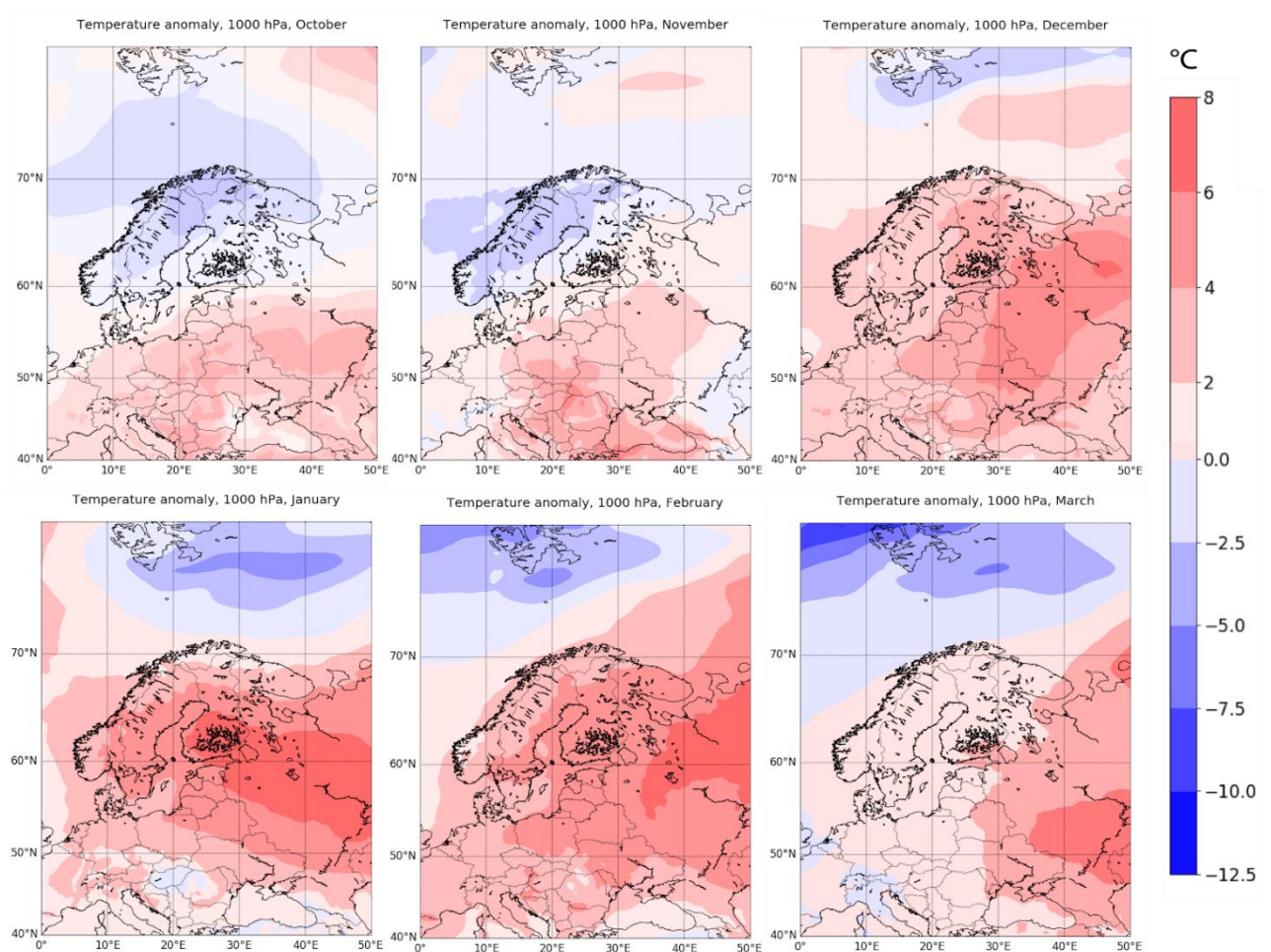


Kaisaniemessäkin pakkasta havaittiin vain kahdeksana päivänä. Minimilämpötilojen lisäksi myös maksimilämpötilat olivat poikkeuksellisen korkeita. Tammikuun kylmin lämpötila mitattiin Kevojärvellä 27.-28.1., -38,8 astetta. Lämpimintä oli 21.1. sekä Kokkola-Pietarsaaren lentoasemalla, Turussa että Jomalassa, +9,2 astetta. Tammikuun ennätyskeskilämpötilaksi mitattiin Helsingin Kaisaniemessä, +3,0 astetta, jonka ero aiempaan ennätykseen on jopa +1,6 astetta. [Lehtonen 2020a]

Helmikuu oli mittaushistorian toiseksi lämpimin ja lämpötilapoikkeama lähes koko maassa oli 4-6 astetta. Helmikuussa kylmin lämpötila mitattiin Sodankylän Vuotsossa 26.2., -32,4 astetta. Lämpimintä oli Hammarlandissa, Märketissä 17.2., +9,0 astetta [Lehtonen 2020b].

Maaliskuussa lämpötilat tasoittuivat jo lähemmäs vertailukauden keskiarvoja, ollen nyt noin 2 astetta (pohjoisessa noin 1-3 astetta ja etelässä 3-4 astetta) lämpimämpiä. Maaliskuun leutos ja lämpimyys kumpusivat avonaisesta merestä ja sen lämmittävästä vaikutuksesta. Useammalla havaintoasemalla; Inkoon Bågaskärissä, Hangon Russarössä, Paraisten Utössä, Lemlandin Nyhamnissa sekä Mustasaarten Valassaarilla mitattiin merialueiden korkein kyseisellä asemalla havaittu maaliskuun keskilämpötila. Maaliskuussa kylmintä oli Sodankylässä, ja sekä Lökkassa että Vuotsossa mitattiin 1.3. -31,8 astetta. Lämpimintä oli puolestaan Mäntsälässä, Hirvihaarassa 26.3., +12,6 astetta. Kökarin Bogskärissä mitattiin ennätyskeskilämpötila maaliskuulle; +3,2 astetta. [Lehtonen & Laakso, 2020; Lehtonen 2020c]

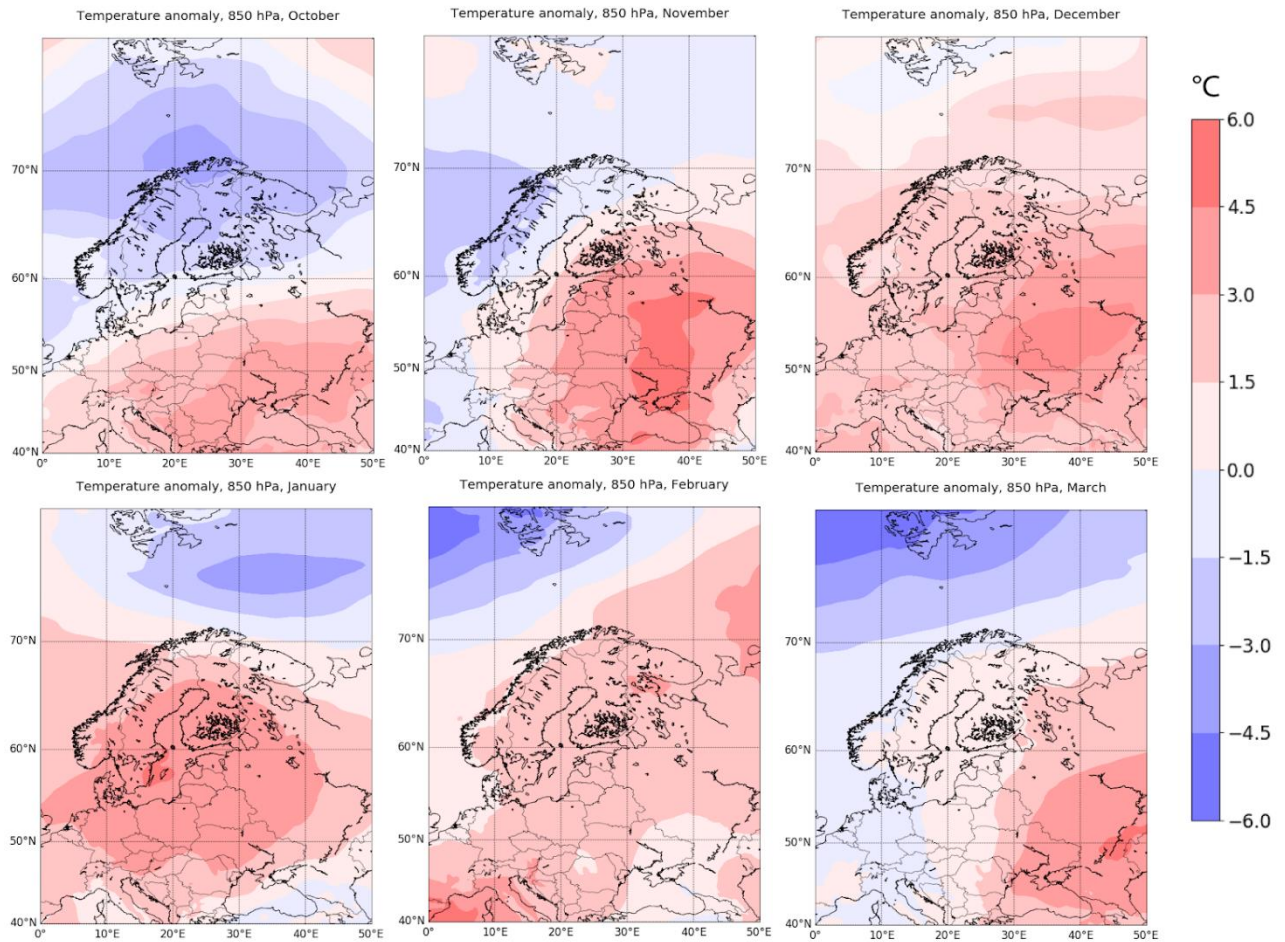
Kun siirytään Suomesta enemmän pohjoiseen, Barentsinmerelle ja Huippuvuorille, nähdään että lämpötilat olivat poikkeuksellisen matalia (kuva 1). Talvi Huippuvuorilla tammi-helmikuussa oli jopa 10 astetta vertailukautta viileämpi. Talvella 2019-2020 arktinen värähtely oli positiivisessa vaiheessa, jolloin stratosfäärin polaaripyörre on ollut erityisen voimakas, sulkien näin kylmät arktiset ilmamassat pohjoiselle napa-alueelle [Zachary et al., 2020]. Eteläisemmät tuulet pääsivät siis levittämään lämpimämpiä ilmamassoja Pohjois-Euroopankin alueelle muodostaen voimakkaan lämpötilagradientin Huippuvuorien ja Skandinavian välille (kuva 1 joulumaaliskuu).



**Kuva 1.** 1000 hPa:n lämpötilapoikkeamat vuosien 1989-2019 keskiarvoista loka-joulukuussa 2019 (ylärivi) sekä tammi-maaliskuussa 2020 (alarivi).

#### 4.1.2 Lämpötila, 850 hPa

Ylempänä 850 hPa:n tasolla lämpötilapoikkeamat olivat samankaltaisia kuin pinnalla (kuva 2). Lämpeneminen alkaa kuitenkin selkeämmin jo marraskuun puolella, eivätkä poikkeamat ole aivan yhtä jyrkkiä kuin maanpinnan tasolla. Lokakuu oli Etelä-Suomessa noin asteen ja Pohjois-Suomessa 2-3 astetta vertailukautta viileämpi (vrt. maanpinnalla 1-2 astetta) ja lämpimyydellään poikkeavin kuukausi, tammikuu 2020, oli noin 3-4 astetta vertailukautta lämpimämpi (vrt. maanpinnalla 6-8 astetta). Kahtiajako arktisten kylmien ja Pohjois-Euroopan lämpimien ilmassojen välillä on hyvin selkeä tammikuusta maaliskuuhun.

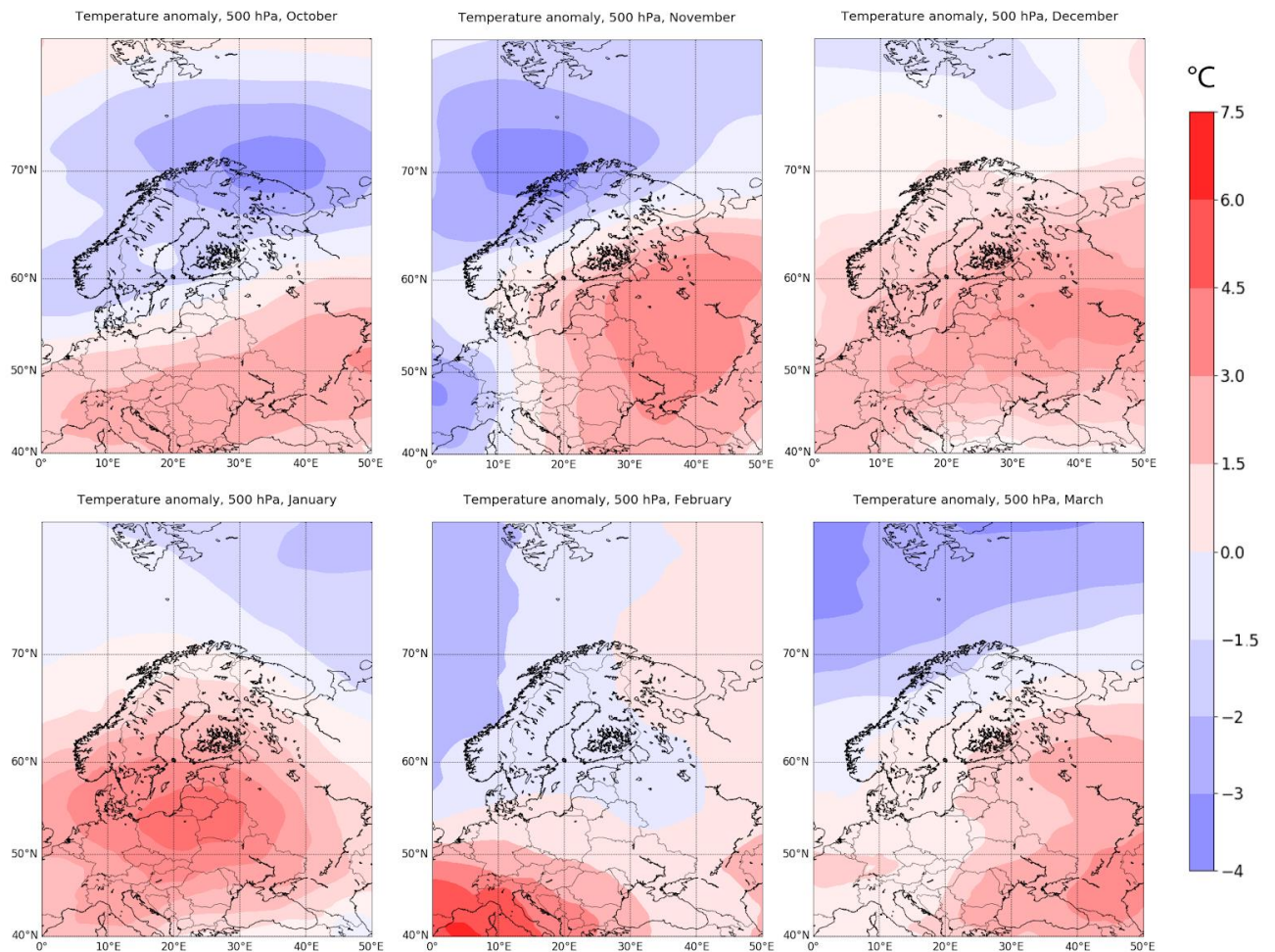


**Kuva 2.** 850 hPa:n (~1,5 km) lämpötilapoikkeamat vuosien 1989-2019 keskiarvoista loka-joulukuussa 2019 (yläriivi) sekä tammi-maaliskuussa 2020 (alarivi).

#### 4.1.3 Lämpötila, 500 hPa

Kun tarkastellaan vielä painetasoa 500 hPa huomataan, että ala- ja keskitroposfääri Pohjois-Euroopassa oli lähes läpikotaisin poikkeuksellisen lämmin (kuva 3). Kvalitatiivisesti maanpinnalla havaitun kaltaiset lämpötilapoikkeamat ulottuivat siis korkealle vapaaseen ilmakehään. Keskitroposfäärissä, 500 hPa:ssa nähdään, kuinka loka-marraskuussa vallitseva viileä alue vetäytyi pohjoisemmaksi joulukuun puolella, jolloin poikkeavuutta ei enää juuri esiintynyt. Joulutammikuussa ilma oli noin 1-3 astetta tavanomaista lämpimämpi Etelä-Suomessa. Helmikuussa lievästi viileämpi alue levittäytyi Suomen ylle. Kyseessä ei ollut astetta suurempi ero, joten lämpötilat olivat suhteellisen lähellä 30 vuoden keskiarvoa. Helmi- ja maaliskuussa keskitroposfääri oli siis Suomen yllä lähes saman lämpöinen kuin vertailukautena.





**Kuva 3.** 500 hPa:n (~5,5 km) lämpötilapoikkeamat vuosien 1989-2019 keskiarvoista loka-joulukuussa 2019 (yläriivi) sekä tammi-maaliskuussa 2020 (alarivi).

## 4.2 Paine kenttä

### 4.2.1 Merenpintapaine

Yksinkertaistaen voidaan sanoa, että Pohjois-Euroopan talvella matalapainealueet johtavat lämpimiin ja korkeapainealueet kylmiin olosuhteisiin maanpinnalla. Tämä johtuu siitä, että matalapaineen alueella ilmenee nousuliikettä, joka johtaa ilmassa olevan kosteuden tiivistymiseen ja pilvien muodostumiseen. Pilvet osin estävät Maan oman lämpösäteilyn karkaamisen, jolloin lämpötilat usein nousevat. Korkeapainealueella vallitsevan laskuliikkeen vuoksi taivas on usein selkeä ja sen seurauksena talviset lämpötilat kylmempiä. Pilvien puuttuessa pinnan emittoimasta lämpösäteilystä suurempi osaa karkaa avaruuteen. Osa säteilystä absorboituu esimerkiksi ilmakehässä olevan vesihöyryn ja hiilidioksidin vuoksi, mutta pilvisellä säällä absorboituneen lämpösäteilyn osuus on suurempi ja säätila näin ollen

lämpimämpi. PaineKenttä vaikuttaa myös olennaisesti tuulien syntyyn, suuntaan ja voimakkuuteen, joilla taas on oma vaikutuksensa paikallisiin olosuhteisiin.

Kuvassa 4 absoluuttisten merenpintapainekeskisarvojen vierellä on esitettynä myös merenpintapaineen poikkeama vertailukaudesta, jolloin vuoden 2019/20 painekentän solien ja selänteiden sijainnin sekä voimakkuuden muutokset vertailukauteen nähden ovat paremmin nähtävissä.

Loka-marraskuussa lämpötilat olivat hieman tavanomaista viileämpiä (kuva 1). Lokakuussa 2019 Suomen itäpuolella nähtävään matalaan liittyvät pohjoiset virtaukset pitivät lämpötiloja alhaisempina, erityisesti Pohjois-Suomessa (kuva 4a). PaineKenttä Suomen alueella lokakuussa oli suhteellisen lähellä vertailukautta, eroten vain noin -4 hPa. Marraskuussa keskimäärin viileämmät lämpötilat aiheutuivat pääasiassa Pohjois-Euroopan ja Länsi-Aasian korkeapainetoiminnasta, kun hetkittäisiä korkeapaineen alueita kulkeutui myös Suomen ylitse [Lehtonen, 2019b]. Tarkastelluista kuukausista ainoastaan marraskuussa painepoikkeama oli selvästi positiivinen. Tällöin painekenttä oli Suomen alueella keskimäärin 4-8 hPa vertailukautta korkeampi.

Joulukuussa 2019 matalapainetoiminta lisääntyi huomattavasti ja syvät matalapaineet vallitsivatkin Pohjois-Euroopan alueella aina helmikuuhun saakka (kuva 4a-b). Joulukuussa Islannin ja Norjan välissä nähtävä suuri matalapaineen alue laski Pohjois-Euroopan painekentän kuukausipoikkeaman noin 8-12 hPa:ia vertailukauden alapuolelle. Tämä matalapaineen poikkeama on pääosin seurausta 11.12. Islannissa hirmumyrskyn aiheuttaneesta matalapaineesta, jonka keskus liikkui kohti Suomea [Lehtonen 2019c]. Matalapainealueeseen liittynyt rintamayöhyke sekä lännen ja etelän puoleiset ilmavirtaukset pitivät koko joulukuun lauhana ja kosteana. Lämpötilat olivat jopa 5 astetta korkeampia vertailukauteen verrattaessa (kuva 1). Vuoden 2012 jälkeen joulukuut ovat lähestulkoon kaikki olleet hyvin lauhvoja [Lehtonen 2019c].

Joulukuun aikana Islannin ylle muodostunut pysyvämpi matalapaine ja etelämpänä Atlantilla, Azorien saarilla vallinnut voimakas korkeapaine voimistivat Atlantin pohjois-eteläsuuntaista painegradienttia, jolloin NAO oli positiivisessa vaiheessa. Positiivinen NAO:n vaihe voimistui joulukuusta helmikuuhun saakka, kun Islannin alueella painepoikkeama syveni ja Azoreilla puolestaan havaittiin korkeapaineanomalian voimistumista (kuva 4a-b, oikeanpuoleiset kuvat).

Tammi-helmikuussa 2020 Pohjois-Euroopan ja Atlantin alueella vallitsivat erityisen voimakkaat, jopa 20-24 hPa vertailuarvoja syvemmät matalapaineet (kuva 4b), jotka tekivät säätilasta hyvin epävakaa. Matalapaineet keskittyivät pääosin Suomen pohjois-länsipuolelle ja Venäjän korkeapaine puolestaan ulottui Keski-Eurooppaan saakka, minkä vuoksi lounaiset, lauhhat tuulet dominoivat läpi alkuvuoden.

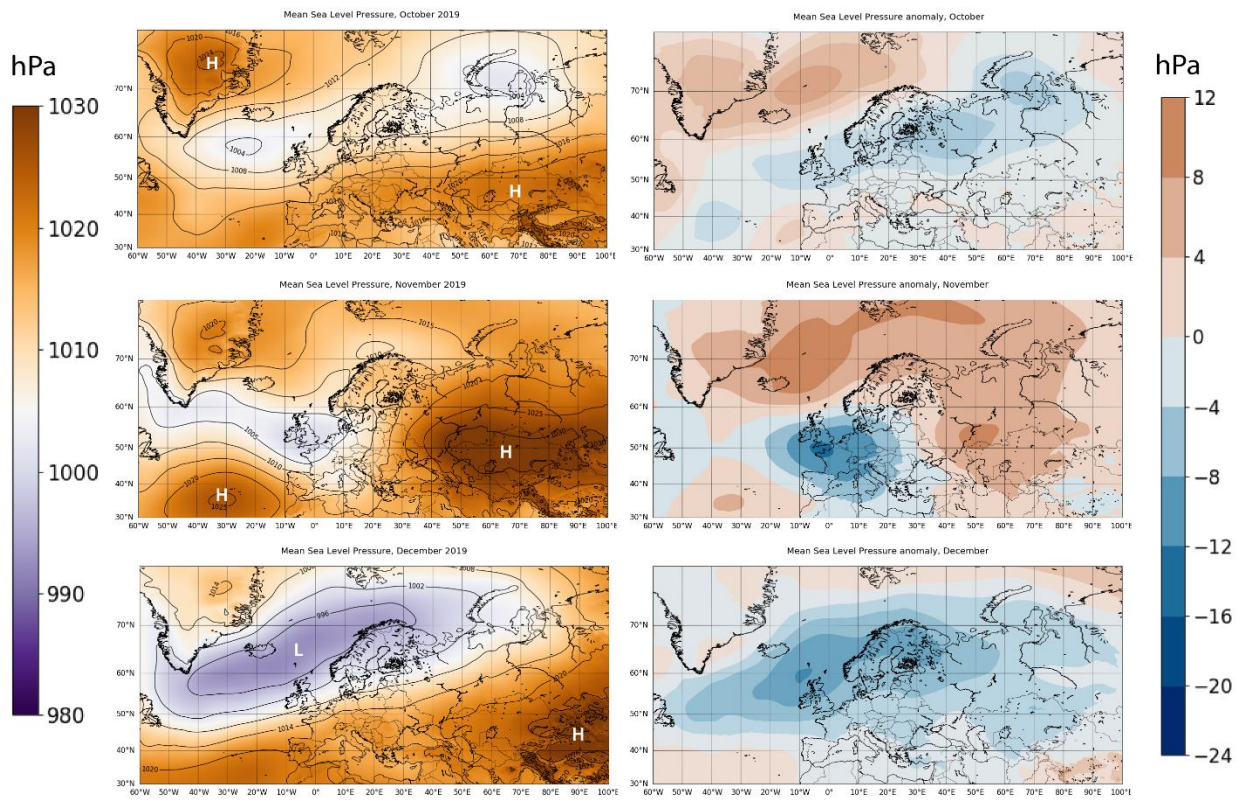
1.1.2020 Keski-Euroopan korkeapaineen painopiste siirtyi Brittein saarien ylle, jolloin muodostui voimakas länsivirtaus Fennoskandiaan. Virtauksen ylittäessä vuoriston suojanpuoleinen kuiva ja lämmin laskuvirtaus, Föhn-tuuli, nosti Suomen lämpötilat ennätyslukemiin. Loppukuusta Jäämeren korkeapaineen selänne siirtyi Pohjois- ja Itä-Suomeen, jolloin Lapissa koettiin kovia pakkasia. Pohjois-Atlantin matalapaineet varmistivat kuitenkin lauhan säätilan säilymisen muualla Suomessa. Tällöin lämpötilaero Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä nousi jopa yli 40 asteeseen. [Lehtonen 2020a]

Helmikuussa matalapaineet syvenivät entisestään ja sijoituivat suurin piirtein Islannin sekä Barentsinmeren ylle (kuva 4b). Kuten kappaleessa 2.2 mainittiin, kyseisten matalapaineen keskuksien sijaintien on huomattu olevan Keski-Etelä-Euroopan korkeapaineiden kanssa yhteydessä lämpimiin talviin Pohjois-Euroopassa. Helmikuussa pintapaineen poikkeamat olivat voimakkaimmillaan,  $-(20-24 \text{ hPa})$ , mikä oli seurausta aktiivisesta matalapainetoiminnasta ja niihin liittyvistä myrskyistä. 2.2.2020 Suomen ylle saapui matalapaineen alue, jolloin Etelä-Suomessa sää jatkui lauhana ja pohjoisessa kylmänä. 9.2. alkoi kehittyä Brittein saarilla Ciara-myrsky, joka vaikutti Suomen lounaisosissa saakka. 16.2. Dennis-myrsky saapui Suomeen ja vielä 22.2. uusi myrsky rantautui Suomen ylle. [Lehtonen 2020b]

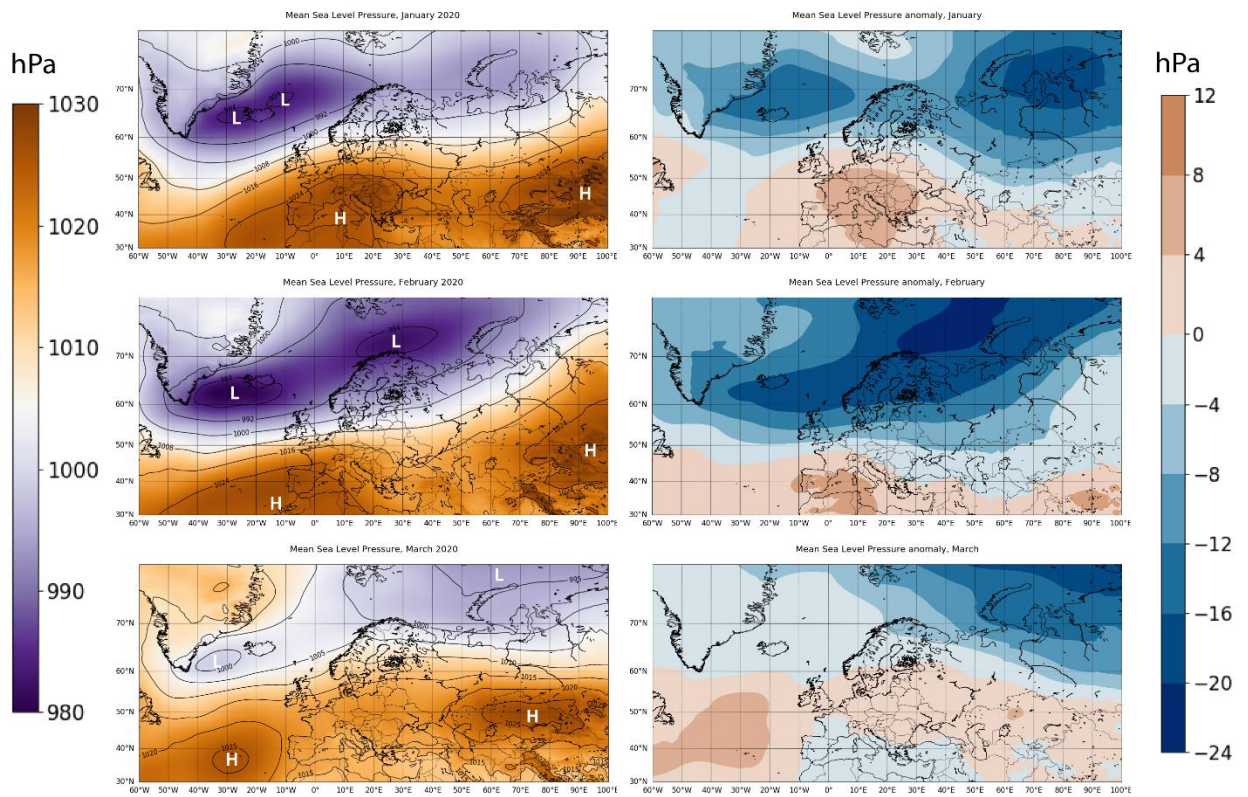
Maaliskuun puolella voimakas matalapainetoiminta selkeästi tasoittui ja painegradientti pohjoisen ja etelän välillä heikkeni (kuva 4b). Paine kentän poikkeama palautui jälleen lähelle vertailukautta ja alkoi hiljalleen nousta korkeapaineen puolelle erityisesti eteläisessä Suomessa. Voimakkaita matalapaineen alueita ei enää koettu ja lähes koko kuukauden ajan lauhat lounaiset ilmavirrat pitivät Suomea lämpimänä. Vain hetkittäin, 13.-14.3. ja 19.-20.3., viileämpää ilmaa virtasi Suomeen luoteesta, kun itää kohti liikkuvat matalapaineet ylittivät Skandinavian aluetta. [Lehtonen 2020c]



a)



b)



**Kuva 4.** Vasemmalla absoluuttinen merenpintapaine (L tarkoittaa matalapainetta (eng. Low pressure) ja H korkeapainetta (eng. High pressure)) ja oikealla merenpintapaineen poikkeama vuosien 1989-2019 keskiarvoista **a)** loka-joulukuussa 2019, **b)** tammi-maaliskuussa 2020 (ylhäältä alaspäin).

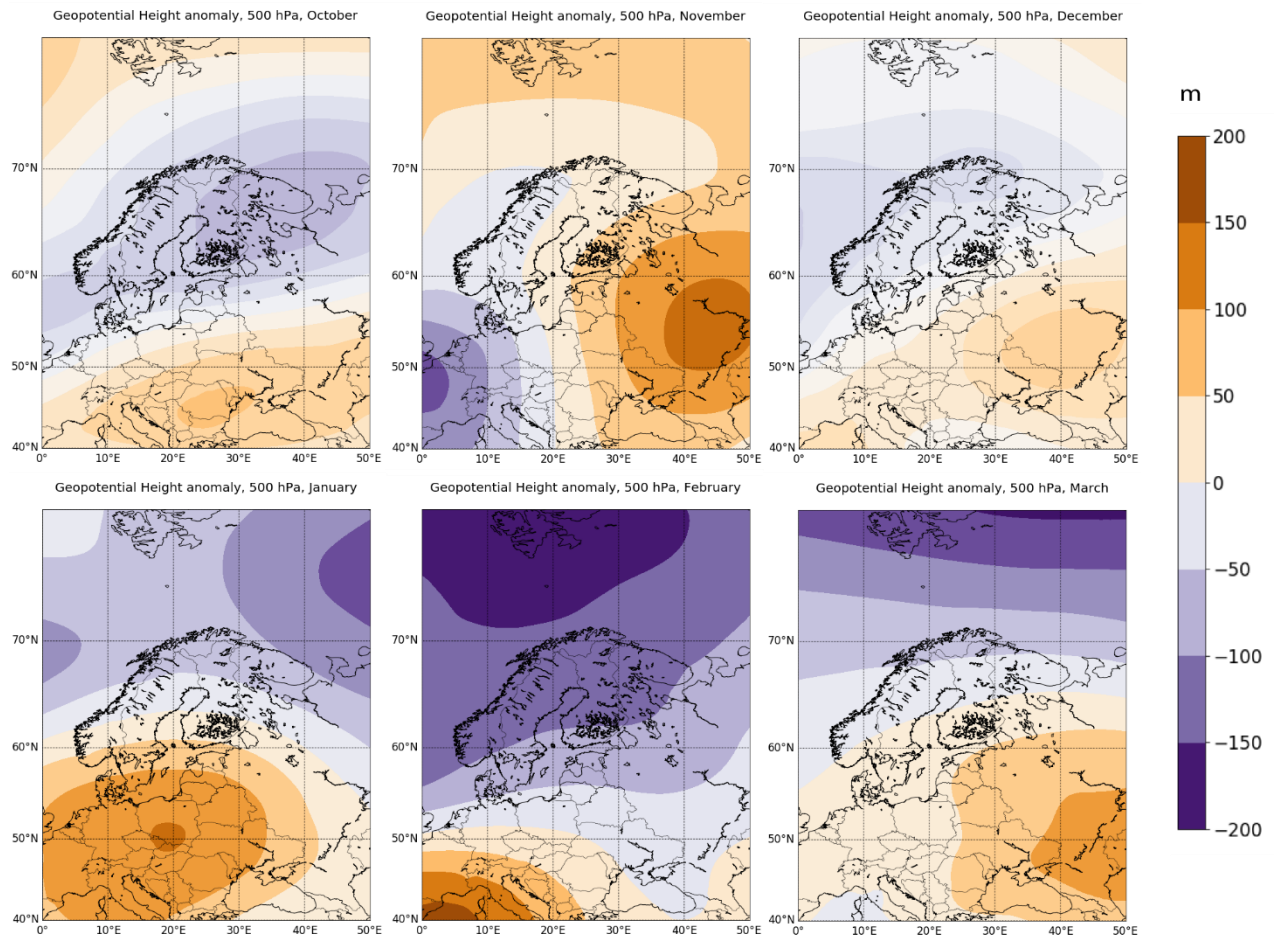
#### 4.2.2 Geopotentialikorkeus, 500 hPa

500 hPa:n painetason geopotentialikorkeuden poikkeamat muistuttavat pitkälti 500 hPa lämpötilapoikkeamia (kuvat 5 ja 3). Kylmä ilma on lämmintä tiiviimpää, jolloin 500 hPa geopotentialikorkeus on matalampi. Geopotentialikorkeuden poikkeamat ovat suhteellisen suuria, jopa 150 metriä suuntaansa. Korkeuskentän poikkeuksellisen matalat arvot loka- ja helmikuussa ovat seurausta negatiivisista lämpötilapoikkeamista. Sen sijaan esimerkiksi marraskuun ja tammikuun voimakkaasti vertailukautta korkeammat yläilmakehän lämpötilat näkyvät geopotentialikorkeuden positiivisena poikkeamana, jopa +150 m. Helmikuussa 500 hPa geopotentialikorkeus on ollut Skandinavian alueella matalimmillaan vertailukauteen verrattuna - (100-150 m)<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Esimerkiksi noin 120 m:n poikkeaman 500 hPa:n geopotentialikorkeudessa voi aiheuttaa joko 15 hPa:n pintapainepoikkeama tai noin 6 asteen poikkeama 500-1000 hPa kerroksen keskilämpötilassa.





**Kuva 5.** 500 hPa (~ 5,5 km) geopotentialkorkeuden poikkeama vertailukaudesta 1989-2019 loka-joulukuussa 2019 (ylärivi) sekä tammi-maaliskuussa 2020 (alarivi).

#### 4.3 Tuulikenttä

Tuulikenttä koostuu ilmavirtauksista, jotka ovat seurausta painekentän gradienteista. Hyvänä approksimaationa tuulen suunnalle ja nopeudelle käytetään geostrofista tuulta. Tuuli on geostrofisessa tasapainossa, kun oikealle vaikuttava Coriolis-ilmiöstä johtuva coriolisvoima on tasapainossa paine-erovoiman kanssa. Tällöin tuulen suunta on ilmanpaineen samanarvonkäyrien eli isobaarien suuntainen. Tuuli kiertää matalapaineen keskusta vastapäivään ja korkeapaineen keskusta myötäpäivään.

#### 4.3.1 Tuulikenttä, 300 hPa

Ilmavirtausten mukana paikalliset ilmamassat siirtyvät alueelta toiselle vaikuttaen näin kohdealueen säätilaan ja ilmastoon merkittävästi. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan tuulennopeutta painetasolla 300 hPa, sillä kyseisellä tasolla suihkuvirtauksen, eli yläilmakehän kovimpien tuulien vyöhykkeen sijainti on parhaiten nähtävissä (kuva 6). Suihkuvirtaukset ohjaavat suurempien matala- ja korkeapainesysteemien kehittymisen suuntaa ja voimakkuutta. Tuulennopeuden keskiarvokarttojen vierellä on esitettyä myös tuulennopeuden poikkeama vertailukaudesta, jolloin suihkuvirtauksen sijainnin ja voimakkuuden muutos on paremmin nähtävissä. Talvikuukausien (joulutammikuu) ajan suihkuvirtaus virtasi lounaasta kohti Pohjois-Eurooppaa ja oli voimakkaimmillaan helmikuussa, mikä selittää talven leutoutta sekä helmikuun myrskyisyyttä.

Lokakuussa 2019 suihkuvirtaus oli lähes suoraan länsi-itä suuntainen (kuva 6a). Suihkuvirtaus oli pohjoisempaa kuin vertailukautena, sillä voimakkaasti punaisen linjan (suihkuvirtauksen sijainti 2019/20, vertailukautta suuremmat tuulennopeudet) eteläpuolella on sininen alue (vertailukautta pienemmät tuulennopeudet), josta nähdään vertailukauden keskimääräisen suihkuvirtauksen sijainti (kuvan 6 oikeanpuoleiset kuvat). Marraskuussa yläilmakehän tuulivyö alkoi saada meridionaalista komponenttia. Suihkuvirtaus aaltoili keskimäärin Atlantilta Etelä-Eurooppaan ja Keski-Euroopan halki Pohjois-Eurooppaan itäisten korkeapaineiden viertä (kuva 6a ja 4a). Näin ollen mantereen halki kulkeneet ilmamassat ovat olleet hieman kuivempia ja viileämpiä.

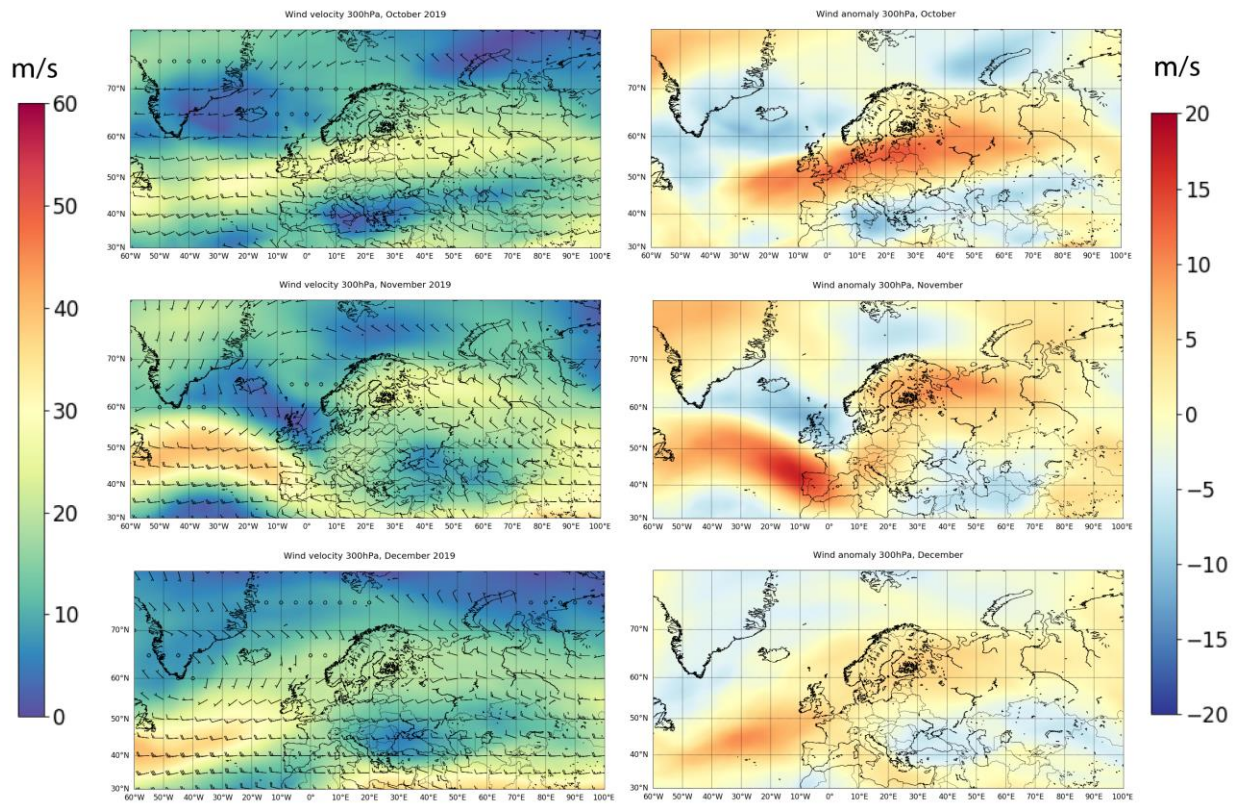
Joulukuussa Atlantin valtameren pohjois-eteläsuuntainen painegradientti voimistui (kuva 4a), minkä vuoksi myös suihkuvirtaus asettui voimakkaan matalan ja korkean väliin, puhaltuen näin suoraan Atlantilta kohti Koillis-Eurooppaa (kuva 6a). Suihkuvirtaus puhalsi pääosin lounaisena loppupalven ajan, kuljettaen näin lämpimämpää ja kosteampaa ilmaa Atlantin valtamereltä kohti Pohjois-Eurooppaa (kuva 6b). Tammikuussa 2020 lounainen suihkuvirtaus sai lisäksi länsi-itäsuuntaista komponenttia Pohjois-Euroopan alueella. Tuulennopeuden poikkeamakartasta nähdään, että kyseisellä alueella tuulennopeudet ovat laajalla alueella noin 15 m/s voimakkaampia kuin vertailukautena.

Helmikuussa 2020 keskileveysasteiden suihkuvirtauksen tuulennopeudet voimistuvat entisestään. Tuulennopeudet ovat Pohjois-Atlantilta Brittein saarille saakka noin 60 m/s, mikä on 20 m/s enemmän kuin ilmastollisena vertailukautena. Suihkuvirtaus ei enää ulotu suoraan Pohjois-Eurooppaan saakka vaan puhaltaa kohti Keski-Eurooppaa. Suihkuvirtauksen voimakkuuden vuoksi siitä aiheutuneiden myrskyjen vaikutus ulottuu kuitenkin Suomeen saakka.

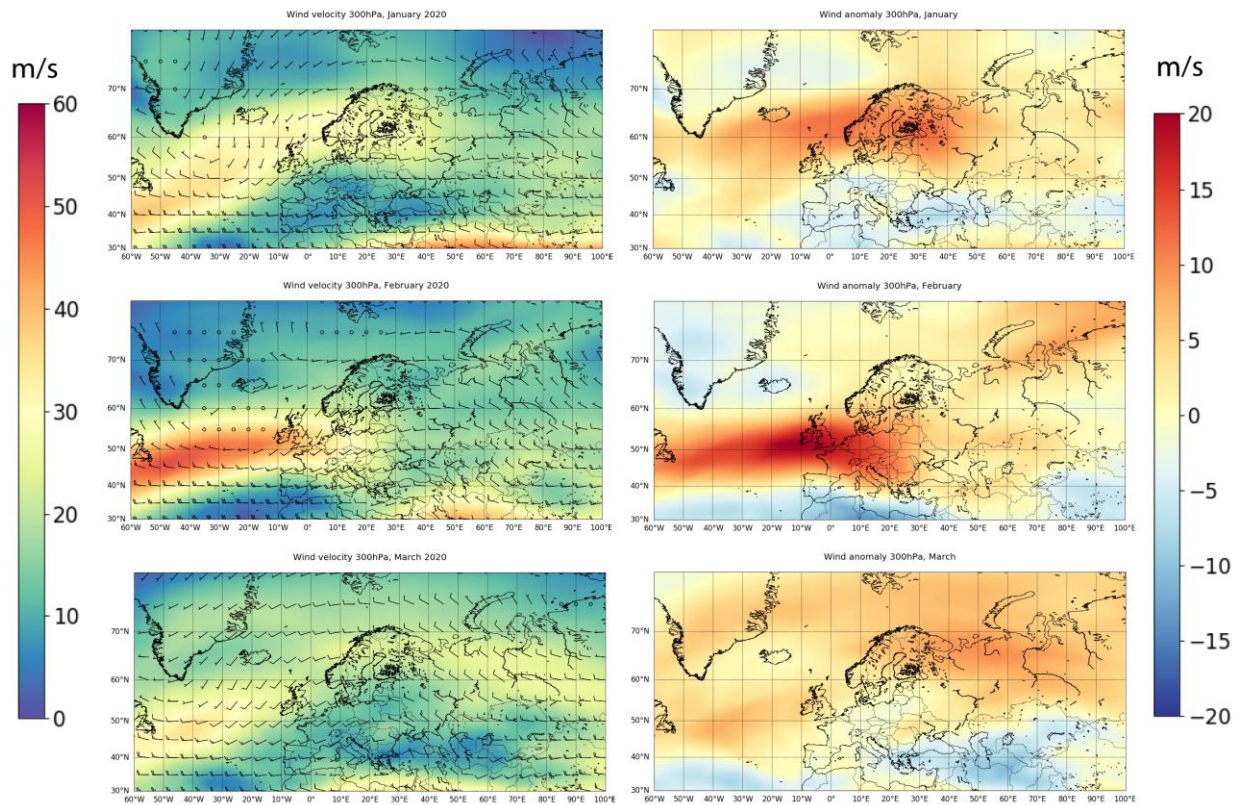
Maaliskuussa 2020 tuulennopeudet heikkenevät selkeästi, palaten takaisin noin 30 m/s luokkaan. Tämä on seurausta Pohjois-Atlantin paine-erojen tasoittumisesta. Suihkuvirtauksen suunta pysyi kuitenkin edelleen samana. Kuukausi oli kokonaisuudessaan huomattavasti tyyneempi kuin edeltävät kuukaudet.



a)



b)



**Kuva 6.** Vasemmalla tuulennopeus sekä suunta ja oikealla tuulennopeuden poikkeama vertailukaudesta 1989-2019 painetasolla 300 hPa (~ 9,0 km) **a)** loka-joulukuussa 2019, **b)** tammi-maaliskuussa 2020 (ylhäältä alaspäin).

#### 4.3.2. Maanpinnalla havaitut myrskytuulet

Lokakuun 2019 aikana Suomessa mitattiin maanpinnalla myrskytuulia (10 minuutin keskituulennopeus 21-32 m/s) ainoastaan loppukuusta, 25.–26.10. välisenä yönä, kun lounaistuulet yltyivät esimerkiksi Merenkurkulla kovimmillaan 27,6 m:iin/s [Lehtonen 2019a]. Marraskuussa Suomeen suuntautuneet tuulet olivat heikompia, minkä vuoksi myrskyjä ei kehittynyt yhtä tehokkaasti. Marraskuun aikana myrskyrajaa ei rikottu Suomessa lainkaan [Lehtonen 2019b].

Joulukuussa muodostuneen Islannin hirmumyrskyn rintamavyöhyke toi mukaan lännestä lauhempaa ilmaa Suomeen ja myöhemmin myrskyn ylittäessä Etelä-Suomen, matalapaineeseen liittyneet tuulet ylittivät myrskyrajan Suomenlahden rannikolla [Lehtonen 2019c]. Kuukauden aikana mitattiin viisi myrskypäivää [Merialueiden tuulipäivät, 2020].

Tammikuussa 2020 myrskytuulen rajoja ei rikottu. Sen sijaan myrskypäiviä mitattiin jo kahdeksan [Merialueiden tuulipäivät, 2020]. Selkeä muutos myrskytuuliin tuli helmikuun puolella. 9.2. Ciara -myrsky alkoi kehittyä Brittein saarilla, vaikuttaen jopa Suomen lounaispuolen meriin saakka nostamalla keskituulen merellä enimmillään 27,3 m:iin/s ja maallakin yli 20 m:iin/s sekä tuomalla runsaasti sateita Suomen lounaisosiin [Lehtonen 2020b]. 16.2. Dennis -myrsky saapui Suomeen ja jälleen viikkoa myöhemmin, 22.2., uusi myrsky rantautui Suomen ylle. Myrskymatalapaineet aiheuttivat helmikuussa useita tulvia, esimerkiksi Hiidenvedellä ja Artjärven Pyhäjärvellä vedenpinta nousi lähes puoli metriä ja Raumalla 22.2 kova tuuli nosti meriveden pinnan korkeutta jopa +135 cm. Myrskyt etenivät pitkälti etelälounaasta kohti pohjoiskoillista, voimakkaasta suihkuvirtauksesta johtuen. Myrskypäiviä mitattiin kaiken kaikkiaan kuukauden aikana 10 [Merialueiden tuulipäivät, 2020].

Maaliskuussa 2020 ainoastaan 25.3. meri- ja rannikkoalueilla tuuli voimistui myrskylukemiin [Lehtonen 2020c]. Myrskypäiviä oli kuukauden aikana seitsemän [Merialueiden tuulipäivät, 2020]. Siitä huolimatta maaliskuu oli kokonaisuudessaan lämmin, sekä huomattavasti tyyneempi ja aurinkoisempi kuin talvikuukaudet.

## 4.4 Kosteus

Suomen talvi oli lämpimyytensä vuoksi sateinen ja Lapissa hyvin luminen. Lämpimämmän ilman kosteussisältö on yleensä suurempi, mikä mahdollistaa runsaammat sateet ja suuremmat lumimäärät niillä alueilla, joilla lämpötila pysyy pakkasen puolella. Kosteutta on tarkasteltu kartoittamalla sekä 850 hPa:n ominaiskosteuden että ilmapilarin kokonaiskosteuden prosentuaalista poikkeamaa.

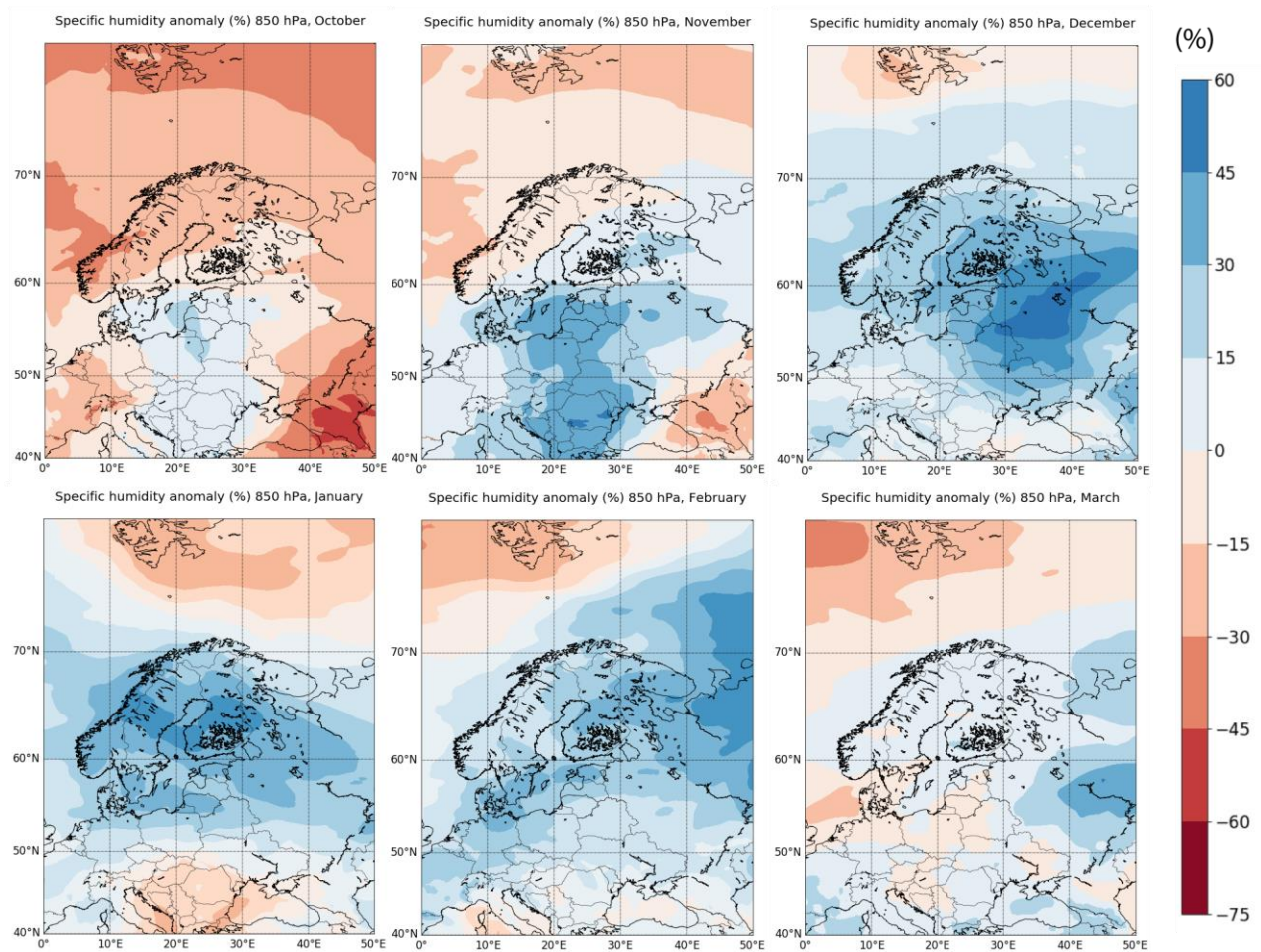
### 4.4.1 Ominaiskosteus, 850 hPa

Kuvassa 7 on esitetty ominaiskosteuden prosentuaalinen poikkeama vertailukaudesta 1989-2019 painetasolla 850 hPa. Pohjois-Euroopan ja Suomen talvi oli tavanomaista kosteampi. Ainoana poikkeuksena toimi viileämpi lokakuu, jolloin Suomessa oli hieman, noin 15%, vertailukautta kuivempaa. Suomessa talvi oli kosteimmillaan joulutammikuussa, jolloin 850 hPa ominaiskosteuden ero vertailukauteen oli noin 0,8-1,2 g/kg, eli 30-40% kosteampaa vertailukauteen verrattuna (kuva 7). Koko talven jatkuva kosteus oli seurausta talvella vallinneista lämpimistä ilmassa-olosuhteista. Aktiivisesta matalapainetoiminnasta johtuva nouseva liike yhdessä runsaan kosteuden kanssa selittää osaltaan Pohjois-Suomen ennätyksellisen runsaat lumisateet (kappale 4.4.3).

Lokakuu 2019 oli kuudesta tarkastellusta kuukaudesta ainoa, joka koko Suomen alueelta oli ilmastollista vertailukautta kuivempi (kuva 7). Etelä-Suomessa 850 hPa:n ominaiskosteuden negatiivinen (kuivempi kuin vertailukausi) poikkeama oli parhaimmillaan 15% ja Pohjois-Suomessa jopa 30%. Marraskuu oli yksi vuoden pilvisimmistä ja sateisimmistä kuukausista. Siitä huolimatta suurin osa Suomen alueesta osoitti vain hieman vertailukautta kosteampia arvoja; poikkeama vain 0-15%, eli noin 0-0,6 g/kg. Aivan pohjoisin Lappi oli yhä tavanomaista kuivempi.

Joulukuussa 850 hPa:n ominaiskosteuden poikkeama nousi lämpötilojen poikkeaman mukaisesti huomattavasti (kuva 1 ja 7). Suurin osa Suomesta oli 30-45% kosteampi kuin vertailukautena. Runsas kosteussisältö säilyi läpi vuodenvaihteen. Tammikuussa 2020 kosteuden poikkeama nousi Pohjois-Suomessa joulukuun 15%:sta 30%:iin ja Etelä-Suomessa, etenkin länsirannikolla, noin 45%:sta jopa 60%:iin (0,8-1,2 g/kg, länsirannikolla 1,6 g/kg). Tammikuussa havaittiin talven poikkeavimmat 850 hPa:n ominaiskosteuden arvot. Helmikuussa ominaiskosteuden poikkeama laski keskimäärin 30%:iin, eli 0,6-0,8 g/kg. Maalikuussa ominaiskosteuden poikkeama jatkoi laskemistaan ja lähestyi nollaa, eli vertailukauden arvoja, koko Suomen alueella.

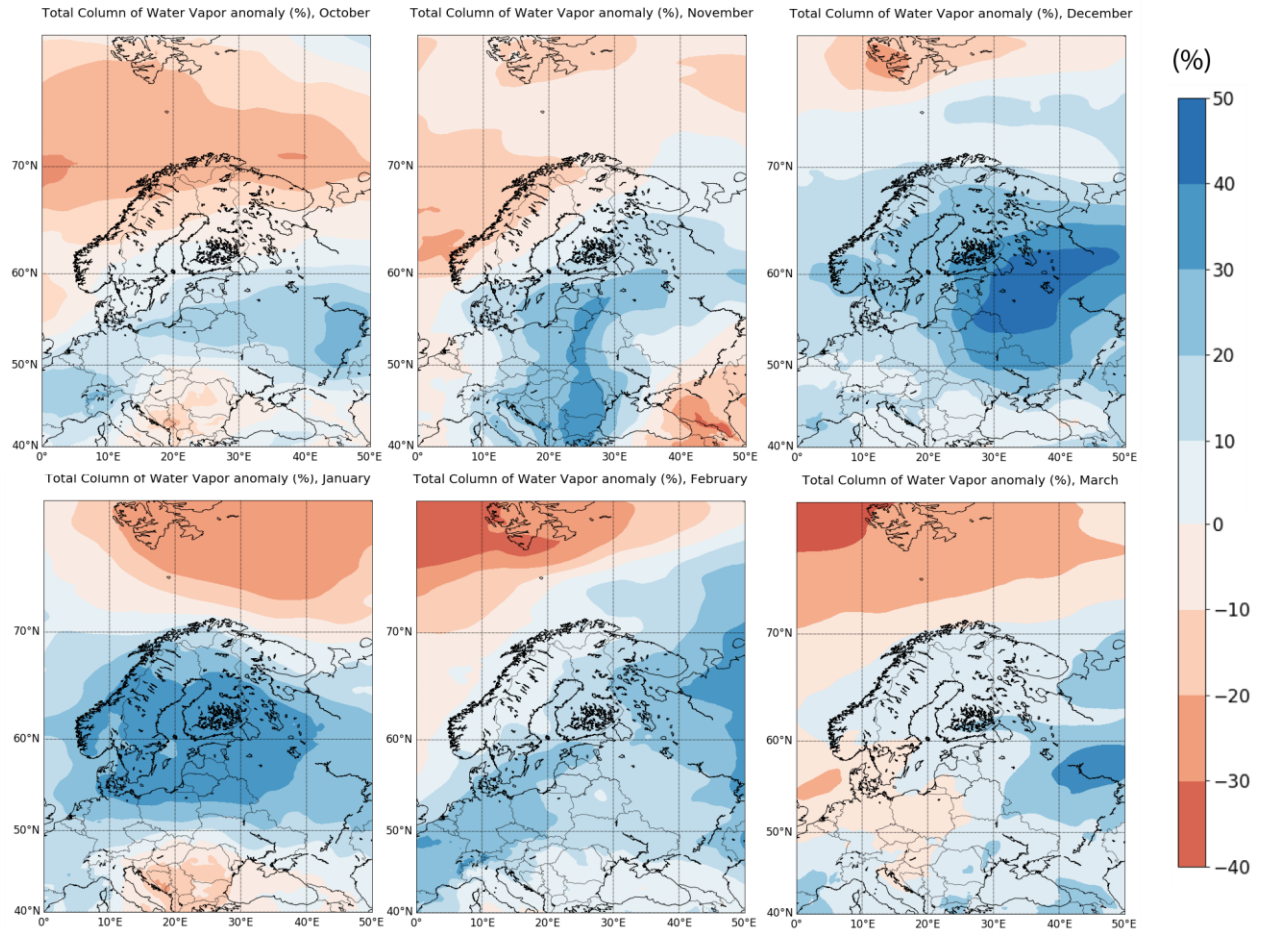




**Kuva 7.** Oinaiskosteuden prosentuaalinen poikkeama painetasolla 850 hPa (~1,5 km) vuosien 1989-2019 keskiarvoista loka-joulukuussa 2019 (ylärivi) sekä tammi-maaliskuussa 2020 (alarivi).

#### 4.4.2 Ilmapilarin kokonaiskosteus

Kuva 8 näyttää kuvasarjan koko ilmakehän kosteussisällön poikkeamasta. Yhden painetason sijaan tarkastellaan siis koko ilmapilaria (*TCWV, eng. Total Column of Water Vapor*). Vesihöyryn pystyintegroidun määrän poikkeama seuraa jonkin verran 850 hPa:n ominaiskosteuden poikkeavuutta. Loka-marraskuuta lukuun ottamatta ilmakehä oli tavanomaista kosteampi. Lokakuussa Pohjois-Lappi oli jopa 20% ( $1,5\text{--}3,0 \text{ kg/m}^2$ ) vertailukautta kuivempi ja Keski-Suomessakin noin 10%. Kosteuden poikkeavuus oli 850 hPa ominaiskosteuden karttojen tapaan suurimmillaan jouluihelmikuussa. Tammikuussa 2020 ilmakehä Etelä- ja Keski-Suomen yllä oli jopa 40-50%,  $3\text{--}4 \text{ kg/m}^2$ , kosteampi kuin aiempina talvina keskimäärin. Maaliskuussa kosteuden poikkeama pieneni lähemmäs vertailukauden arvoja, jolloin poikkeama oli enää 0-10% vertailukauteen verrattuna.



**Kuva 8.** Koko ilmakehän kosteussisällön, eli vesihöyryn ilmapilarin läpi pystyintegroidun määrän prosentuaalinen poikkeama vuosien 1989-2019 keskiarvoista loka-joulukuussa 2019 (yläriivi) sekä tammi-maaliskuussa 2020 (alarivi).

#### 4.4.3. Sateisuus ja lumisuus

Lokakuun 2019 suurin sademäärä mitattiin Hangossa, Tvärminnessä, 137,4 mm ja suurin lumensyvyys Värriötunturilla, 37 cm. Lokakuu kokonaisuudessaan oli hyvin pilvinen ja esimerkiksi Itä-Suomessa auringonpaistetusajat jäivät vain puoleen normaalista. Pilvisyyden myötä myös sateisuus oli runsasta ja suurimmassa osassa maata sademäärän keskiarvot ylittyivät. Myös ensilumi saapui varhain. Alkukuusta pohjoisesta virtasi kylmää ilmaa, minkä vuoksi ensimmäinen lumipeite mitattiin Itä-Suomessa jo lokakuun 4. päivänä; muutamasta sentistä jopa Ilomantsin 20 cm:iin. [Lehtonen 2019a]

Marraskuun suurin sademäärä mitattiin Kankaanpäällä Niinisalossa, 134,4 mm, joka on kyseisen havaintoaseman mittaushistorian suurin marraskuussa mitattu sademäärä. Marraskuun sade-ennätys rikottiin myös kahdella muulla havaintoasemalla; Ähtärissä 113,2 mm ja Siikalatvan Kestillä 95,6 mm. Suurin lumensyvyys mitattiin Puolankassa, Paljakaalla 30.11., 55 cm. Kuivempaa säilyneitä Lappia ja Kaakkois-Suomea (vrt. kuva 7 ja 8) lukuun ottamatta kuukausi

oli hieman vertailukauden keskiarvoja sateisempi. Marraskuun loppupuolella ohut lumipeite laskeutui myös Etelä-Suomeen, kun Tanskan yllä sijainnut matalapaineen keskus siirtyi itään ja luoteesta virtasi kylmää ilmaa koko maahan. [Lehtonen 2019b]

Joulukuun suurin sademäärä mitattiin Vironlahdella Koivuniemessä, 116,8 mm ja suurin lumensyvyys Sodankylässä, Vuotsossa 88 cm. Uudet joulukuun sademäärän ennätykset rikottiin Vuotsossa (98,7 mm) ja Lokassa (79,0 mm) ja Sodankylässä oli enemmän lunta kuin 100 vuoteen (88 cm). Pääosin joulukuu oli marraskuun tapaan lauha ja kostea johtuen lännen ja etelän puoleisista ilmvirtauksista (kuva 6a). Lämpötilojen tapaan sade- sekä lumimäärät ylittivät keskiarvot lähes joka puolella Suomea. Etelässä satoi noin puolitoista kertaa enemmän kuin normaalisti. Lauhojen lämpötilojen vuoksi Keski-Suomessa sade laskeutui lähinnä märkänä lumena. Keski-Lapissa sadetta tuli jopa kaksin- tai kolminkertaisesti keskiarvoihin verraten ja alueilla, joilla lämpötila oli laskenut alle nollan, koettiin ennätysrunsaita lumisateita. [Lehtonen 2019c]

Tammikuussa 2020 kosteuden poikkeama nousi suurimmilleen joka puolella Suomea (kuva 7 ja 8). Luonnollisesti tammikuun suurin sademäärä rikkoi siis ennätyksiä; Sodankylässä, Vuotsossa, mitattiin 62,3 mm (aiempi ennätys 55,7 mm, 1998). Tammikuun lumensyvyyden ennätys rikkoutui esimerkiksi Kittilässä, Pokkassa, jossa mitattiin 111 cm 30.1.2020 (aiempi ennätys 98 cm 1993). [Lehtonen 2020a; Lehtonen & Peltola, 2020]

Helmikuussa suurin sademäärä mitattiin Lohjalla, Leppäkorvessa, 123,2 mm ja suurin lumensyvyys Puolankassa, Paljakkassa 24.2., 124 cm. Kuukausi oli jälleen hyvin sateinen ja monin paikoin sadetta oli kaksi-kolminkertaisesti keskiarvoihin verrattuna voimakkaiden myrskyjen (*Ciara*, *Dennis*) tuottamien sateiden takia. Helmikuussa lumen määrä oli ennätyksellisen vähäistä Etelä- ja Lounais-Suomessa ennätyskorkeiden lämpötilojen vuoksi. Lapin alueella lumisuus oli puolestaan hyvin runsasta, kun paikalliset koillistuulet laskivat Pohjois-Suomen lämpötiloja reilusti nollan alapuolelle. [Lehtonen 2020b]

Maaliskuussa kosteuden poikkeama lähestyi nollaa (kuva 7 ja 8). Siitä huolimatta kuukausi oli tavanomaista sateisempi Lounais-Suomessa sekä Pohjois-Lapissa. Suurin sademäärä maaliskuussa mitattiin Enontekiön Kilpisjärvellä, 81,1 mm, ja syvin lumipeite, 134 cm, mitattiin 18.3. Puolangan Paljakassa. Sen sijaan keskimääräistä vähemmän satoi Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalla. [Lehtonen 2020c]



#### 4.5 Lämpimät talvet tulevaisuudessa – poikkeus vai trendi

Ilmastomallisimulaatioiden mukaan talven keskilämpötila Suomessa nousee noin kaksi astetta yhden asteen maailman keskilämpötilan muutosta kohden. Tämä tarkoittaisi 2019/20 kaltaisten lämpimien talvien yleistymistä tulevaisuudessa. Mikäli ilmasto pysyisi samanlaisena kuin 1900-luvun ilmasto, Helsingissä tällaisia talvia koettaisiin ainoastaan kerran 500 vuodessa [Räisänen, 2020]. Nykyilmastossa, eli noin asteen keskilämpötilan nousun jälkeen, 2019-2020 kaltaisten talvien esiintyminen yleistyy jo huomattavasti; noin kerran 60 vuodessa. Nämä lukuarvot on suoritettu vain Helsingille. Toistuma-ajat esimerkiksi Lapissa olisivat lyhyempiä, sillä talven 2019-2020 lämpötilat eivät olleet yhtä poikkeuksellisia Pohjois-Suomessa.

RCP4.5-skenaarion mukaan vuoteen 2050 mennessä keskilämpötila olisi noussut kolmella asteella, jolloin talven 2019-2020 kaltainen talvi koettaisiin kerran 15 vuodessa ja vuoteen 2090 mennessä nousua olisi 4 astetta ja näin lämpimiä talvia esiintyisi joka kuudes vuosi. RCP8.5-skenaarion mukaan keskilämpötila olisi jopa seitsemän astetta lämpimämpi ja 2019-2020 kaltaiset talvet esiintyisivät jo 61% todennäköisyydellä, eli useammin kuin joka toisena talvena. [Räisänen, 2020; Räisänen, 2021]

Helsingissä talvella 2019/20 lumimäärän maksimi jäi enimmillään 3 cm:iin lämpötilojen ollessa lähes koko talven ajan plussan puolella. Sen sijaan Pohjois-Suomessa, Sodankylässä, maksimilumensyvyys oli jopa 127 cm, johtuen kosteuden lisääntymisen sekä voimakkaan matalapainetoiminnan mahdollistamista runsaista sateista. Tulevaisuudessa todennäköisimmin myös Pohjois-Suomen lumimäärät vähenevät lämpötilojen noustessa. Jo vuoden 2040 paikkeilla Helsingissä olisi mallisimulaatioiden mukaan lunta 35-50% ja Lapissa 15% vähemmän kuin vuosituhannen vaihteessa. Vuoden 2080 paikkeilla vastaavat lumimäärän vähenemistä kuvaavat prosentuaaliset arvot olisivat 80% Helsingille ja 30% Lapille, kun seurataan RCP8.5-skenaariota, jossa päästöt ovat erittäin suuret. Huolimatta siis kosteuden lisääntymisestä ja Lapin osalta runsaslumisesta talvesta 2019/20, lumen määrä kääntyyne piakkoin laskuun koko Suomessa lämpenemisen seurauksena. [Räisänen, 2020; Räisänen, 2021]

Yksittäinen leuto talvi ei ole suoraan seurausta ilmaston pitkäaikaisesta lämpenemisestä eikä se myöskään määrittele tulevan ilmaston muutoksia. Lämpötilan vuosien välinen vaihtelu ja sen pitkäaikaiset muutokset riippuvat monista eri tekijöistä, kuten ilmakehän kiertoliikkeessä tapahtuneista sisäisistä vaihteluista tai kasvihuonekaasujen lisääntymisestä. Siispä ainoastaan talven 2019-2020 perusteella ei voida tehdä väitteitä ilmastossa tapahtuvien muutoksien luonteesta. Talven poikkeuksellisuutta on kuitenkin hyvä tutkia ja kartoittaa, jotta mahdollista toistuvuutta kyetään ymmärtämään.

## 5. Yhteenveto

Suomen talvioloja 2019-2020 dominoivat voimakas länsivirtaus (keskileveysasteiden suihkuvirtaus) Atlantilta sekä runsas sateisuus korkeiden lämpötilojen mahdollistaessa tavanomaista kosteammat sääolot. Viileän ja kuivan loka-marraskuun jälkeen lämpötilojen poikkeamat vertailukaudesta 1989-2019 kääntyivät nousuun, kun Pohjois-Atlantin pohjois-eteläsuuntainen painegradientti ja sen seurauksena läntinen suihkuvirtaus voimistuivat. Lännestä ja lounaasta puhaltavat yläilmakehän tuulet toivat mukanaan lämpimiä, kosteita ilmamassoja ja runsaasti syviä matalapaineen keskuksia. Arktisen värähtelyn ollessa positiivisessa vaiheessa voimakas polaaripyörre säästi Pohjois-Euroopan arktisilta ilmamassoilta ja näin positiiviseen NAO-vaiheeseen liittyvän läntisen suihkuvirtauksen tuomat ilmamassat dominoivat lämpötiloja.

Kuudesta tarkastellusta kuukaudesta ainoastaan talvikuukausia edeltävät loka- ja marraskuu olivat vertailukautta viileämpiä, ja nekin vain noin asteen verran. Varsinaisten talvikuukausien lämpötilat ylittivät vertailukauden kuukausikeskiarvot 4-5 asteella joulukuussa, 6-8 asteella tammikuussa ja 4-6 asteella helmikuussa. Lämpötilapoikkeamat olivat suurimmillaan tammi-helmikuussa Etelä-Keski-Suomessa. Pohjois-Suomessa lämpötilapoikkeamat olivat hieman vähäisempiä mutta kuitenkin merkittävästi, 2-4 astetta, vertailukautta lämpimämpiä. Lämpötilaerot Pohjois- ja Etelä-Suomen välillä olivat tammikuun puolella hetkellisesti jopa 40 astetta ja helmikuu kokonaisuudessaan oli Suomen mittaushistorian toiseksi lämpimin.

Kosteus yhdessä aktiivisen matalapainetoiminnan kanssa aiheutti runsaat sateet Etelä- ja Keski-Suomessa sekä syvät lumikinokset Pohjois-Suomessa. Kokonaissademäärä korreloi positiivisesti lämpötilan kanssa, minkä vuoksi tulos oli odotettavissa [Räisänen, 2021]. Tässä yhteydessä positiivinen korrelaatio tarkoittaa, että lunta sataisi enemmän leudompina talvina. Tämä pätee ainoastaan, mikäli lämpötilat laskevat alle nollan. Ilmaston lämpenemisen jatkuessa nykyiseen tahtiin, leudommat talvet tulevat jatkossa johtamaan lumisuuden sijaan runsaisiin vesisateisiin myös pohjoisilla alueilla.

Suoria päätelmiä tulevaisuuden talvista ei voida yhden talven perusteella tehdä, sillä esimerkiksi Pohjois-Euroopan sijainti Euraasian rannikon lähellä aiheuttaa sen, että lämpötilat muuttuvat herkästi tuulen suunnasta riippuen, jolloin talvi-ilmastossa voi olla suurtakin vuosien välistä vaihtelua [Räisänen, 2021]. Ilmakehän kiertoliikkeen muutoksia aiheuttavilla kaukoyhteyksillä (*eng. teleconnections*), kuten esimerkiksi Tyynellä valtamerellä tapahtuvilla ilmakehän ja meren kiertoliikkeen värähtelyillä (*ENSO – El Niño Southern Oscillation, MJO – Madden-Julian Oscillation tms.*) voi myös olla vaikutusta. Tässä tutkimuksessa ainoastaan NAO:n ja AO:n vaiheita tarkasteltiin, sillä niiden vaikutusalue on hyvin lähellä Pohjois-Eurooppaa. NAO:n ja AO:n vaiheet olivat molemmat positiivisia, mikä on tyypillistä lämpimille talville. Jatkotutkimuksena myös kaukaisempien värähtelyiden vaiheiden seuraaminen ja mahdollisesti

niiden vaikutusten kartoittaminen olisi mielekästä. Kaukoyhteyksien vaikutusten tuntemisen myötä Pohjois-Euroopan talvi-ilmastossa esiintyvien poikkeuksellisten ääriarvojen syitä voidaan tarkastella perusteellisemmin ja erottaa vuosikohtaiset vaihtelut pidemmällä ajanjaksolla vaikuttavasta ilmastomuutoksesta.

## 6. Kiitokset

Tämä tutkimus on tehty osana Helsingin yliopiston meteorologian maisteriopintoja, pro-gradu työnä. Ohjaajana on toiminut Victoria Sinclair (INAR), joka on kehittänyt alkuperäisen aiheen ja seurannut tutkimuksen toteutusta alusta alkaen. Hänen apunsa on ollut erittäin tärkeää tutkimuskysymyksen muotoilussa, datan käsittelyssä ja karttojen oikeellisuuden tarkastamisessa. Lopullisen työn on lukenut läpi ja kommentoinut Jouni Räisänen. Suuri kiitos hänen tarkkuudella ja huolellisuudella tehdyistä korjausehdotuksista.

Kaikki tutkimuksessa käytetty numeerinen aineisto on ECMWF:n (Euroopan keskipitkien sääennusteiden keskus, *eng. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) ERA5 tietokannasta.

Kiitos lisäksi kanssaopiskelijoille, Linda Uusihakala, Aurora Skyttä, Jani Strömberg, sekä seminaariklinikan jäsenille, Laura Tuomola, Jani Parviainen, vertaistuesta ja avusta mieltä painavien ongelmien, päätösten sekä epävarmuuksien edessä.

## 7. Lähdeluettelo

[Advancing Reanalysis, 2010] Advancing Reanalysis, *Reanalyses.org Home Page*, Submitted by esrl\_admin, 18.6.2010 <https://reanalyses.org/> 23.10.2020

[Allen et al., 2018] Allen, M.R., O.P. Dube, W. Solecki, F. Aragón-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, and K. Zickfeld, 2018: Framing and Context. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-

Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)). In Press.

[ArcGIS Pro, 2021] ArcGIS Pro, 2.7, *Basemaps*

<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/mapping/map-authoring/author-a-basemap.htm>  
16.3.2021

[Arctic Oscillation (AO), 2020] *Arctic Oscillation (AO)*, NOAA National Centers For Environmental Information,

<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/ao/> 30.10.2020

[Boström, 2014] Boström P., 2014: *NAO Index: An Extreme Pressure Approach*, Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:714920/FULLTEXT01.pdf>

[Cattiaux et al., 2010] Cattiaux, J., Vautard, R., Cassou, C., Yiou, P., Masson-Delmotte, V. ja Codron, F. (2010), *Winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate*, Geophys. Res. Lett., 37, L20704, doi: [10.1029/2010GL044613](https://doi.org/10.1029/2010GL044613)

[Cohen et al., 2010] Cohen, J., Foster, J., Barlow, M., Saito, K. ja Jones, J. (2010), *Winter 2009–2010: A case study of an extreme Arctic Oscillation event*, Geophys. Res. Lett., 37, L17707, doi: [10.1029/2010GL044256](https://doi.org/10.1029/2010GL044256)

[Cuijuan et al., 2020] Cuijuan Sui, Lejiang Yu ja Timo Vihma (2020) *Occurrence and drivers of wintertime temperature extremes in Northern Europe during 1979–2016*, Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography, 72:1,1-19, doi: [10.1080/16000870.2020.1788368](https://doi.org/10.1080/16000870.2020.1788368)

[Climate Copernicus, 2020] *ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present*, Climate Data Store, Climate Copernicus

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/10.24381/cds.bd0915c6?tab=overview>  
23.10.2020

[DMI, 2020] DMI - Danish Meteorological Institute, *Annual anomaly of the +80N mean temperature index*, [http://ocean.dmi.dk/arctic/meant80n\\_anomaly.uk.php](http://ocean.dmi.dk/arctic/meant80n_anomaly.uk.php) 24.10.2020

[IPCC, 2014] Ilmastomuutos v. 2013: *Luonnontieteellinen perusta - Yhteenveto päätöksentekijöille Suomeksi, Ensimmäisen työryhmän osuus IPCC:n 5. arviointiraportissa* (2014), Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (IPCC), Ilmatieteen laitos  
[http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=f5fa6e34-a467-43cb-b5f8-93240b286441&groupId=30106](http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=f5fa6e34-a467-43cb-b5f8-93240b286441&groupId=30106)

[Jylhä et al., 2009] Jylhä, K., K. Ruosteenoja, J. Räisänen, A. Venäläinen, H. Tuomenvirta, L. Ruokolainen, S. Saku & T. Seitola, 2009: Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Ilmatieteen laitos. Raportteja 2009:4, 102 s.  
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/15711>

[Kendon & McCarthy, 2015] Kendon. M., McCarthy. M. (2015), *The UK's wet and stormy winter of 2013/2014*, Met Office, Royal Meteorological Society, 40-47, doi:  
<https://doi.org/10.1002/wea.2465>

[Lehtonen 2019a] Lehtonen Ilari (2019), *Ilmastokatsaus-digilehti lokakuu 2019*, Ilmatieteen laitos, 20.11.2019  
<http://www.ilmastokatsaus.fi/2019/11/20/ilmastokatsaus-digilehti-lokakuu-2019/> 13.11.2020

[Lehtonen 2019b] Lehtonen Ilari (2019), *Ilmastokatsaus-digilehti marraskuu 2019*, Ilmatieteen laitos, 19.12.2019  
<http://www.ilmastokatsaus.fi/2019/12/19/ilmastokatsaus-digilehti-marraskuu-2019/> 13.11.2020

[Lehtonen 2019c] Lehtonen Ilari (2019), *Ilmastokatsaus-digilehti joulukuu 2019*, Ilmatieteen laitos, 21.01.2020  
<http://www.ilmastokatsaus.fi/2020/01/21/ilmastokatsaus-digilehti-joulukuu-2019/> 13.11.2020

[Lehtonen 2020a] Lehtonen Ilari (2020), *Ilmastokatsaus-digilehti tammikuu 2020*, Ilmatieteen laitos, 20.02.2020  
<http://www.ilmastokatsaus.fi/2020/02/20/ilmastokatsaus-digilehti-tammikuu-2020/> 13.11.2020

[Lehtonen 2020b] Lehtonen Ilari (2020), *Ilmastokatsaus-digilehti helmikuu 2020*, Ilmatieteen laitos, 23.3.2020  
<http://www.ilmastokatsaus.fi/2020/03/23/ilmastokatsaus-digilehti-helmikuu-2020/> 13.11.2020

[Lehtonen 2020c] Lehtonen Ilari (2020), *Ilmastokatsaus-digilehti maaliskuu 2020*, Ilmatieteen laitos, 23.04.2020

<http://www.ilmastokatsaus.fi/2020/04/23/ilmastokatsaus-digilehti-maaliskuu-2020/> 13.11.2020

[Lehtonen & Laakso, 2020] Lehtonen Ilari ja Laakso Lauri (2020), *Maaliskuun 2020 kuukausikatsaus*, 23.04.2020

<http://www.ilmastokatsaus.fi/2020/04/23/maaliskuun-2020-kuukausikatsaus/> 13.11.2020

[Lehtonen & Peltola, 2020] Lehtonen Ilari ja Peltola Antti (2020), *Tammikuun 2020 kuukausikatsaus*, 20.02.2020

<http://www.ilmastokatsaus.fi/2020/02/20/tammikuun-2020-kuukausikatsaus/> 13.11.2020

[Merialueiden tuulipäivät, 2020] *Merialueiden tuulipäivät*, Tuulitilastot, Ilmatieteen laitos, <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuulitilastot> 31.10.2020

[Mikä on sulkukorkeapaine, 2018] *Mikä on sulkukorkeapaine*, Ilmatieteen laitos, 28.5.2018 [https://www.youtube.com/watch?v=5\\_KOH-FP3qI](https://www.youtube.com/watch?v=5_KOH-FP3qI) 30.10.2020

[North Atlantic Oscillation, 2020] *North Atlantic Oscillation*, Met Office, <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/atmosphere/north-atlantic-oscillation> 30.10.2020

[Priestley et al., 2017] Priestley, M.D.K., Pinto, J.G., Dacre, H.F. ja Shaffrey, L.C. (2017), *The role of cyclone clustering during the stormy winter of 2013/2014*. Weather, 72: 187-192, doi: [10.1002/wea.3025](https://doi.org/10.1002/wea.3025)

[Rousi et al., 2013] Rousi E., Anagnostopoulou C., Tolika K., Maheras P., (2013), *Representing teleconnection patterns over Europe: A comparison of SOM and PCA methods*. Department of Meteorology and Climatology, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki 54124, Greece. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.11.010>

[Ruosteenoja et al., 2013] Ruosteenoja K., Räisänen J., Jylhä K., Mäkelä H., Lehtonen I., Simola H., Luomaranta A., ja Weiher S. (2013) *MAAILMANLAAJUISIIN CMIP3- MALLEIHIN PERUSTUVIA ARVIOITA SUOMEN TULEVASTA ILMASTOSTA*, Ilmatieteen laitos, raportti, <https://core.ac.uk/download/pdf/18617079.pdf>

[Räisänen, 2020] Räisänen Jouni, *Ilmastonmuutoksen vaikutus tulevaisuuden talviin*, (luento, 27.10.2020), *Sääpäivät* -seminaari, Ilmatieteen laitos

[Räisänen, 2021] Räisänen, J., (2021): *Snow conditions in northern Europe: the dynamics of interannual variability versus projected long-term change*, *The Cryosphere*, 15, 1677–1696, <https://doi.org/10.5194/tc-15-1677-2021>

[Scandinavia, 2012] *Scandinavia*, Climate Prediction Center Internet Team, NOAA Center for Weather and Climate Prediction, 10.11.2012  
<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/scand.shtml> 30.10.2020

[Silkstone, 2020] Silkstone. N., *The Exceptional Winter of 2019-2020 explored through Global Teleconnections* - youtube (2020), Royal Meteorological Society RMetS  
<https://www.youtube.com/watch?v=xhBEBVEnrV8&feature=youtu.be> 31.10.2020

[Talven 2009-2010 sää, 2020] *Talven 2009-2010 sää*, Ilmatieteen laitos  
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/talvi-2009-2010> 31.10.2020

[Virtart et al., 2019] Vitart F., Balsamo G., Bidlot J., Langlvan S., Tsonevsky I., Richardson D. ja Balmaseda M., *Use of ERA5 reanalysis to initialise re-forecasts proves beneficial*, Newsletter, ECMWF, 2019 <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/161/meteorology/use-era5-reanalysis-initialise-re-forecasts-proves-beneficial> 22.10.2020

[Zachary et al., 2020] Zachary D. Lawrence, Judith P., Amy H. B., Gloria L. M., Paul A. N., Simon H. L., Eric R. N., (2020), *The Remarkably Strong Arctic Stratospheric Polar Vortex of Winter 2020: Links to Record-Breaking Arctic Oscillation and Ozone Loss*, AGU - Advancing Earth and Space Science  
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2020JD033271> 25.5.2021